Linnáner
1870.

[illegible]

Belz Eugen.

Freising, den 15. Mai 1872.

[illegible]



Leitfaden

für den

Unterricht in der Physik

auf

Gymnasien, Gewerbe-, Real- und höheren Bürgerschulen

von

Professor Dr. H. A. Brettner,
weiland Königl. Regierungs- und Schulrathe, Director des Marien-Gymnasiums zu Posen,
Mitgliede mehrerer gelehrter Gesellschaften

Siebenzehnte vermehrte und verbesserte Auflage
von
Dr. F. Bredow.

Mit 137 in den Text eingedruckten Figuren.

Breslau.
Verlag von Josef Max und Komp.
1868.

Vorwort zur vierzehnten Auflage.*)

Aus dem Vorworte zur achten Auflage entnehme ich folgende Stelle, weil ich ihren Inhalt bei allen darauffolgenden Auflagen zu beobachten bemüht war.

Auch bei der Besorgung der achten Auflage dieses Buches habe ich mich durch den Gedanken leiten lassen, daß dasselbe nur die Bestimmung hat, die Grundlehren der Physik und deren Hauptfolgerungen mitzutheilen, und zwar weder in zu dürrer Kürze, noch in zu ermüdender Umständlichkeit, und in einer Darstellungsweise, welche theils durch die auf diese Wissenschaft in höheren Schulen zu verwendende Zeit, theils durch die Bildungsstufe der Schüler bedingt ist. Die vorgenommenen Verbesserungen und Vermehrungen, welche sich fast in jedem Abschnitte, wenn auch in ungleicher Menge, vorfinden, werden diejenigen der Herren Kollegen, welche sich bei ihrem Unterrichte dieses Leitfadens bedienen, überzeugen, daß ich die neueren und neusten Fortschritte der Wissenschaft, soweit sie in Schulbücher schon aufnehmbar sind, nicht unberücksichtigt gelassen habe.

Möchte es mir gelungen sein, auch in dieser neuen Auflage sowohl die Vermehrungen des Inhalts, als auch die Verbesserungen in der Darstellung der vorgetragenen Lehren im Sinne der voranstehenden Ansicht angebracht zu haben.

Posen, im März 1857.

*) Die erste Auflage erschien 1828, die zweite 1832, die dritte und vierte 1834, die fünfte 1836, die sechste 1837, die siebente 1840, die achte 1842, die neunte 1844, die zehnte 1846, die elfte 1849, die zwölfte 1852, die dreizehnte 1854, die vierzehnte 1857, die fünfzehnte 1860, die sechzehnte 1864.

Vorwort zur fünfzehnten Auflage.

Die Vergleichung dieser fünfzehnten Auflage mit der vierzehnten wird Jeden leicht erkennen lassen, daß in allen Abschnitten Verbesserungen und in einigen auch Vermehrungen des Inhalts vorkommen. Das Letztere gilt besonders von dem Abschnitte über das Licht, noch mehr aber von dem über die Elektrizität, welchen ich zum Theil umgearbeitet habe, was zur Folge hatte, daß ich den Elektromagnetismus in einer Unterabtheilung bei der Kontaktelektrizität, so wie die Magnetoelektrizität bei der Induktionselektrizität abgehandelt habe, wodurch der Inhalt des Buches nunmehr in elf statt in die zwölf früheren Abschnitte vertheilt ist. Die Zahl der Figuren ist von 118 auf 130 vermehrt worden. Ich hoffe auch dieses Mal die Brauchbarkeit dieses Leitfadens vergrößert zu haben.

Posen, im Mai 1860.

Vorwort zur sechzehnten Auflage.

In dieser neuen Auflage habe ich Verbesserungen in einzelnen Ausdrücken, so wie in der Darstellung des Inhalts mancher Paragraphen angebracht, und oft kürzere Zusätze, so wie auch einen neuen Paragraphen (169b), welcher die Spektralerscheinungen behandelt, hinzugefügt. Die Zahl der Figuren ist von 130 auf 132 gestiegen.

Posen, im Juni 1863.

H. A. Brettner.

Vorwort zur siebenzehnten Auflage.

Da dieses Buch, wie die zahlreichen Auflagen zeigen, sich einen weiten Wirkungskreis geschaffen hat, so ist es wohl wünschenswerth, daß es in diesen Kreisen zur Förderung naturwissenschaftlichen Unterrichts erhalten bleibe und den so schnell uns entrissenen Verfasser in diesem seinem Lieblingswerk fortleben lasse.

Zur Erinnerung an den Verfasser, „gewandt und klar als Lehrer, tüchtig als Experimentator, liebenswürdig im Umgange“, wie denselben ein nun heimgegangener Freund und College bezeichnete, findet sein Lebensbild auch hier wohl eine angemessene Stelle.

Hans Anton Brettner, geboren den 10. Mai 1799 in Michowitz bei Beuthen in Oberschlesien, war der Sohn eines Landwirths. Die vielversprechenden Anlagen des Knaben entwickelten sich früh; deshalb brachte ihn seine Mutter auf das Matthias-Gymnasium in Breslau. Im Jahre 1819 bezog er dort die Universität, deren Professoren, namentlich der später nach Berlin berufene Steffens, den strebsamen jungen Mann ihres näheren Umgangs und ihrer persönlichen Freundschaft würdigten. Durch Steffens wurde er dem General-Feldmarschall Graf York von Wartenburg zum Gouverneur seines Sohnes empfohlen. Die beiden Jünglinge besuchten nun gemeinsam die Collegia und genossen während der Mittag- und Abendzeit in der Familie Steffens die anregende und begeisternde Unterhaltung des hochverehrten, reichbegabten Lehrers. — Die öffentliche Laufbahn betrat B. 1824 als Lehrer am Gymnasium in Gleiwitz. Von da beginnt für ihn ein Leben voll ununterbrochener Arbeit, unter deren Last mancher Andere gebeugt worden wäre. Denn außer dem Unterricht am Gymnasium ertheilte er denselben noch an der Gewerbe- und Töchterschule, bearbeitete seine mathematischen und physikalischen Lehrbücher, welche weit über die Grenzen Preußens Verbreitung fanden. 1837 wurde B. am Matthias-Gymnasium in Breslau angestellt, wo er sich gleichfalls die Achtung und Anerkennung nicht nur der Schüler und Lehrer, sondern auch die des größeren Publikums erwarb, da er vor einem zahlreichen Zuhörerkreise im Saale der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur populär-wissenschaftliche Vorträge hielt. Von der Universität Kiel bekam er das Doctordiplom und Friedrich Wilhelm III. verlieh ihm den Professortitel. 1843 erhielt B. den Ruf als Königlicher Regierungs- und Schulrath nach Posen, wo ihm 1846 das Directorat des Marien-Gymnasiums übertragen wurde; auch wohnte er der Landes-Schul-Conferenz im Jahre 1849 bei. Ungeachtet der schwierigen Vereinigung zweier arbeitsvollen Aemter hat

er sich als Schul- und Jugendfreund bewährt und es in hohem Grade verstanden, sich weit über die Schule hinaus die Liebe und Anhänglichkeit seiner Zöglinge zu sichern. Um die Seele seines innersten Strebens zu kennen, mußte man dafür ein Auge haben, daß der Geist innigster Frömmigkeit der Quell war, aus welchem seine ganze Wirksamkeit hervorquoll. Er gehörte der Geburt und inneren Ueberzeugung nach der katholischen Kirche an, zeigte aber durch sein leuchtendes Beispiel, daß er auch als solcher fähig sei, das Bild des Herrn in dem Genossen jeder andern Confession zu erkennen und zu lieben. Seit 1824 verheirathet, führte B. mit seiner nun um ihn trauernden Wittwe ein reichbewegtes Familienleben. — Der Tod ereilte den noch kräftigen, fast 67jährigen Schulmann am 25. Februar 1866 mitten in seiner Berufsthätigkeit; denn noch wenige Stunden vor seinem Heimgange ertheilte er Unterricht und erquickte sich an der ungetheilten Aufmerksamkeit der Jünglinge, welche zur Universität vorzubereiten ihm Herzensfreude war.

Die Nachricht von seinem Absterben erfüllte die Bewohner Posens mit Schmerz und Trauer, welche sich durch die regste und aufrichtigste Theilnahme an der Beerdigung des allgemein geliebten und hochverehrten Mannes kundgab: außer den Lehrern und Schülern des Marien-Gymnasiums, dem Regierungs-Collegium, den Elementarschulen, dem Schullehrer-Seminar, den Deputationen der Realschule, des Friedrich-Wilhelm-Gymnasiums und des zu Schrimm waren nahe an 150 Geistliche aus der Provinz erschienen, an welche sich ein Gefolge von nahe an achttausend Personen anschloß. Das giebt von dem besonnenen und gerechten Wirken des Verstorbenen das schönste Zeugniß. — Friede Gottes seiner Seele!

Der Unterzeichnete hofft durch die sorgfältige Durchsicht und die erforderlichen Ergänzungen, sowie durch das beigefügte alphabetische Verzeichniß zur ferneren Brauchbarkeit des Buches beizutragen.

Liegnitz, im Juni 1868.

F. Bredow.

Inhalt.

Einleitung.

1. Materie ist Alles, was einen Raum ausfüllt. Körper heißt hier jeder mit Materie angefüllter und in bestimmte Grenzen eingeschlossener Raum, oder: Ein Körper ist begrenzte Materie.

Man nennt auch diesen Körper einen physischen, zum Unterschiede von dem mathematischen, der nur ein begrenzter, der Materie aber ganz ermangelnder Raum ist. Jener ist Gegenstand der Physik, der Künste, der Gewerbe und des täglichen Verkehrs; dieser der Geometrie.

2. Es giebt Erd- und Himmelskörper. Den eigentlichen Gegenstand der Betrachtung machen hier die ersteren aus; sie werden eingetheilt in organische und unorganische. Jene haben Werkzeuge, Organe, durch welche sie ihre inneren und äußeren Veränderungen, Ernährung und Fortpflanzung bewirken; bei diesen erkennen wir solche Werkzeuge nicht, nur durch fremde — mechanische und chemische Einwirkung verändern sie sich.

3. Die organischen Körper sind Thiere und Pflanzen. Die ersteren sind mit Empfindung und freier Bewegung begabt, die letzteren weder mit dieser noch mit jener. Die Thiere leben, die Pflanzen wachsen.

Organe sind Theile eines Körpers, denen bestimmte Geschäfte oder Funktionen zugewiesen sind, nach denen sie benannt werden. Die Pflanze hat Organe der Ernährung (Wurzeln, Stamm, Blätter, Saftröhren &c.), und Organe der Fortpflanzung oder Reproduktion (Staubgefäße, Stempel und Samen). Das Thier hat aber außer Ernährungs- und Fortpflanzungs-Organen auch noch Organe der Bewegung oder Irritabilität (Knochen und Muskeln), und Organe der Empfindung oder Sensibilität (Gehirn, Nerven).

Die unorganischen Körper kommen in drei Hauptzuständen oder Aggregatsformen vor; sie sind nämlich: fest, flüssig oder luftförmig.

Feste oder starre Körper sind diejenigen, die in bestimmten Formen vorkommen, und deren Theile nur mit mehr oder weniger Gewalt, zuweilen gar nicht, verschoben werden können. Es giebt Grade der Festigkeit. Eisen, Steine, Holz, Papier. — Flüssige Körper dagegen sind diejenigen, welche in kleinen Mengen kugelige Tropfen bilden, sonst keine selbständige Form haben, sondern immer die Gestalt des Raumes, in dem sie eingeschlossen sind, annehmen, und deren Theile sich leicht verschieben und trennen lassen. Auch hier giebt es Grade der Flüssigkeit. Syrup, Wasser, Wein, Spiritus. — Luftförmige Körper oder Luftarten endlich sind solche, deren Theile sich noch leichter als die der flüssigen Körper verschieben lassen, und die außerdem das Bestreben haben, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen, und zwar desto stärker, je mehr sie zusammengedrückt werden. Die Luftarten sind entweder Gase oder Dämpfe. Diese behalten die Luftform nur bei hoher Wärme oder geringem äußeren

Drucke, werden aber flüssig bei Verminderung der Wärme oder Vermehrung des Druckes; jene dagegen verlieren ihre Luftform erst bei hinlänglich hohem Grade von Kälte oder bedeutendem Drucke, ja manche behalten nach den bisherigen Erfahrungen ihre Luftform bei allen Wärmegraden und bei jedem äußeren Drucke.

Coercibele Luftarten, wie Wasserdämpfe — Chlorgas wird bei 16fachem Atmosphärendrucke, d. h. bei 16 mal 15 Pfund = 240 Pfund Druck auf einen Quadratzoll flüssig; ja in neuester Zeit hat Thilorier das kohlensaure Gas nicht nur in einen flüssigen Körper (bei 36fachem Atmosphärendrucke), sondern sogar in einen festen verwandelt — permanente Luftarten: atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Stickstoffgas.

Man unterscheidet auch blos feste und flüssige Körper, theilt dann aber die letzteren in tropfbar- und ausdehnsam- oder elastisch-flüssige ein.

4. Bei genauer Betrachtung der Körper bemerkt man Veränderungen an ihnen. Alles, was an einem Körper irgend eine Veränderung hervorbringt, heißt eine Kraft. Kräfte und die durch sie hervorgebrachten Veränderungen der Körper verhalten sich zu einander, wie Ursache und Wirkung; sie stehen also in geradem Verhältnisse zu einander, d. h. je größer jene, desto größer diese. Wir schließen hier immer nur aus der Größe der Veränderung, d. i. der Wirkung, auf die Größe der Kraft, d. i. der Ursache.

Die Veränderungen der Körper sind aber doppelter Art: entweder wird nämlich dabei die Materie der Körper ganz umgewandelt, also neue Materie hervorgebracht, oder die Materie bleibt dieselbe, indem nur eine Raumveränderung stattfindet. Jene sollen innere, diese äußere Veränderungen der Körper heißen, so wie die Kräfte selbst innere oder äußere, je nachdem sie innere oder äußere Veränderungen der Körper hervorbringen.

5. Unter Natur versteht man den Inbegriff aller durch die Sinne wahrnehmbarer Gegenstände, und unter Naturwissenschaft oder Naturkunde den gesammten Inbegriff aller unserer Erkenntnisse von der Natur. Diese Erkenntnisse beziehen sich aber entweder auf die Merkmale der Körper, durch welche sie sich von einander unterscheiden, oder auf ihre Veränderungen; daher die Naturwissenschaft vorerst in zwei Haupttheile: Naturbeschreibung oder Naturgeschichte, und Naturlehre oder Physik im allgemeinsten Sinne zerfällt.

Natur im Gegensatz von Kunst — Natur als Inbegriff der Eigenschaften eines Körpers.

6. Die Naturgeschichte, welche vorzugsweise die äußeren Merkmale der Körper aufsucht und in Folge von übereinstimmenden Merkmalen verwandte Körper in Ordnungen bringt und beschreibt, hat drei Unterabtheilungen: Mineralogie, Beschreibung der unorganischen Körper, welche die feste Rinde unserer Erde bilden; Botanik, Kräuter- oder Pflanzenkunde, und Zoologie, Thierkunde.

7. Die Naturlehre im allgemeinsten Sinne schließt in sich die Physiologie, die es nur mit den organischen Körpern zu thun hat — Physiologie der Pflanzen, Physiologie der Thiere — und die

Naturlehre schlechtweg, welche die unorganischen Körper betrachtet. Wenn die letztere insbesondere die inneren Veränderungen unorganischer Körper behandelt, heißt sie Chemie; hat sie es aber nur mit äußeren Veränderungen unorganischer Körper zu thun, Naturlehre oder Physik im engsten Sinne. Nur mit dieser beschäftigen wir uns hier. Die Chemie von ihr ganz zu trennen, ist nicht möglich; es giebt daher einen chemischen Theil der Physik.

Physikalische und chemische Kräfte. — Gleichbedeutende Ausdrücke sind: äußere, räumliche oder mechanische und physikalische Veränderungen; eben so: innere, materielle und chemische Veränderungen. Dasselbe gilt von den Kräften.

8. Diese Veränderungen der Körper (Phänomene, Naturerscheinungen, Naturbegebenheiten) erfolgen nach bestimmten unwandelbaren Gesetzen; es ist daher die Aufgabe der Physik nicht blos die Entdeckung der Veränderungen, sondern auch die Erforschung der Gesetze, nach nach welchen jene erfolgen. Die Physik ist also die Wissenschaft von den äußeren Veränderungen unorganischer Körper und den Gesetzen (Naturgesetzen), nach denen jene erfolgen.

9. Die Veränderungen der Körper können wir nur auf dem Wege der Erfahrung kennen lernen; zu den Naturgesetzen gelangen wir, indem wir mittelst der Vernunft aus einer Menge von Erfahrungen, die wir mit einander nach dem, worin sie übereinstimmen und abweichen, vergleichen, allgemeine Regeln ableiten. Die Ursachen der beobachteten Wirkungen sind uns bis jetzt fremd geblieben; denn die letzte der Ursachen liegt jenseit der Grenzen unseres Fassungsvermögens, unserer Urtheilskraft.

Alle Erfahrungen aber sind entweder Beobachtungen (Observationen) oder Versuche (Experimente). Wir machen eine Beobachtung, wenn wir einen Körper in demjenigen Zustande oder in denjenigen Verhältnissen lassen, in die er durch sich selbst ohne unser Zuthun gekommen ist, und auf alle ihn treffenden Veränderungen merken; wir machen dagegen einen Versuch, wenn wir den Zustand, in welchen ein Körper von selbst gekommen ist, ändern; ihn also zwingen, in Verhältnisse einzugehen, in die er von selbst nicht gekommen wäre, und dabei ebenfalls auf die ihn treffenden Veränderungen achten. Mit dem Versuche muß immer eine Beobachtung verknüpft sein.

Es ist eine Beobachtung, wenn wir im Winter zusehen, wie das Wasser gefriert; ein Versuch aber, wenn wir Wasser zum Gefrieren bringen, indem wir ein Gefäßchen mit Wasser in eine Mischung aus Schnee und Salmiak stellen; es ist eine Beobachtung, wenn wir bemerken, wie das Quecksilber im Barometer durch den Druck, das im Thermometer durch die Wärme der Atmosphäre steigt und fällt; ein Versuch aber, wenn das Quecksilber im Barometer zum Steigen und Fallen gebracht wird, indem sein offenes Ende in ein Gefäß reicht, in welchem künstlich die Luft verdichtet und verdünnt wird, oder wenn das Quecksilber im Thermometer zum Steigen oder Fallen gebracht wird, indem wir es in warmes oder kaltes Wasser tauchen.

Zu Beobachtungen und Versuchen gehören ein vorurtheilsfreier Geist, gesunde Sinne, gute Werkzeuge, physikalische Instrumente. Physikalischer Apparat, physikalisches Kabinet. — Experimental-Physik.

Da unsere Naturerkenntniß immer von der sinnlichen Wahrnehmung ausgeht, so ist die Erfahrung auch das eigentliche Feld der Physik, welche daher mit Recht eine Erfahrungswissenschaft genannt wird. Erst in der zweiten Hälfte des fünfzehnten Jahrhunderts betrat man in den physikalischen Untersuchungen den rechten Weg, den der Beobachtungen und Versuche, und wird ihn, als den allein zum Ziele führenden, gewiß nie verlassen. Die neuere Physik beginnt mit Nikolaus Kopernikus (1472 bis 1543).

10. Naturerscheinungen erklären, heißt, sie auf Naturgesetze zurückführen. Da wir aber nicht immer im Stande sind, dieß durch Beobachtungen und Versuche (§ 9) zu bewirken, so sind Hypothesen, welche auf Thatsachen fußend, das Verständniß dieser Thatsachen anbahnen, ein werthvolles Hülfsmittel wissenschaftlicher Forschungen.

Glückliche Hypothesen sind das Kopernikanische System und Newton's Attraktionslehre; denn die genauesten Beobachtungen bewähren die Richtigkeit der Voraussetzungen; stimmen mit den daraus gezogenen Schlüssen, und mit den darauf beruhenden Berechnungen vollkommen überein.

11. 1) Der Nutzen der Physik ist höchst mannigfaltig:

a) ihr Studium bildet unsern Geist, wie jede andere Wissenschaft, und führt uns so unserm Ziele, der Vervollkommnung unserer selbst, näher;

b) sie vernichtet Aberglauben und ungereimte Vorstellungen von Irrlichtern, Kometen u. s. w.;

c) sie zeigt uns auf der einen Seite die unendliche Größe des Schöpfers und die Ordnung und Harmonie in der Schöpfung, auf der anderen Seite die Beschränktheit unseres Geistes, und befördert so religiöses Gefühl und die Erkenntniß Gottes;

d) sie lehrt uns, Dinge um uns benützen, den üblen Einflüssen vieler Körper entgehen, und leitet auf Erfindungen, besonders in Künsten und Gewerben, die oft von dem außerordentlichsten Nutzen für die ganze Menschheit sind, z. B. der Kompaß, die Blitzableiter, die Dampfmaschinen, die electro-magnetischen Telegraphen, die Augen- und Ferngläser, Lampen, die Kunst zu färben, zu bleichen u. s. w;

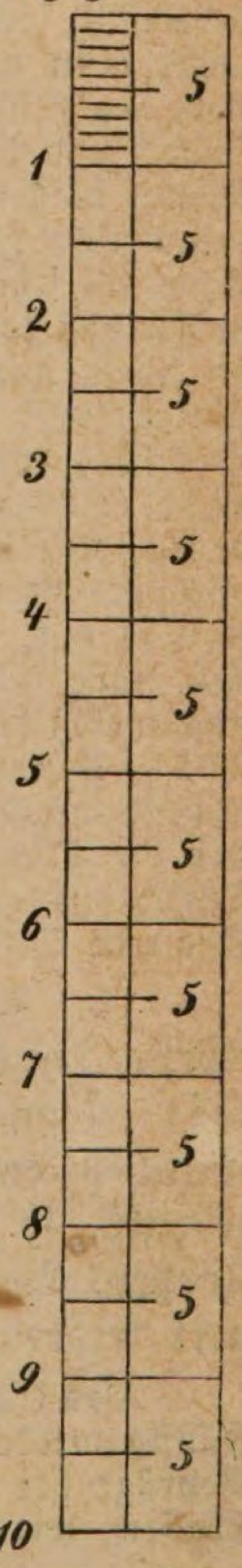
e) endlich gewährt sie uns auch die angenehmste Unterhaltung.

2) Die Physik läßt sich in zwei große Abtheilungen bringen, nämlich in die Physik der wägbaren Stoffe, d. i. der festen, flüssigen und luftförmigen Körper, und in die Physik der unwägbaren Stoffe, d. i. des Lichtes, der Wärme, des Magnetismus und der Elektrizität; oder auch in drei Abtheilungen, von denen die erste von den mechanischen Erscheinungen, die zweite von den Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme, die dritte von den Erscheinungen des Magnetismus, der Elektrizität und des Chemismus handelt. Die Gründe dieser Eintheilungen, welchen die nun folgenden elf Abschnitte in ihrer Aufeinanderfolge entsprechen, werden sich später von selbst ergeben.

Erster Abschnitt.

Von den allgemeinsten Körperphänomenen.

12. Man theilte früher strenger als jetzt die Eigenschaften der Körper ein in allgemeine und besondere, und erklärte sie so: Allgemeine Eigenschaften der Körper sind diejenigen, die man bei allen Körpern, wenn auch in verschiedenen Graden, vorfindet; besondere dagegen, die nur an gewissen Arten von Körpern wahrgenommen werden. Zu den ersteren zählte man die Ausdehnung, die Undurchdringlichkeit, die Theilbarkeit, die Porosität, die Elastizität, die Ausdehnbarkeit, die Preßbarkeit und die Schwere; zu den letzteren z. B. die Eigenschaften der warmen, elektrischen und magnetischen Körper. Man pflegt auch wohl hiernach die Physik einzutheilen in die allgemeine und besondere Physik. Da aber tiefere physikalische Untersuchungen der neueren Zeit gezeigt haben, daß Wärme, Magnetismus u. s. w. eben so gut allgemein zu nennen sind, als die Schwere u. s. w., Elastizität aber keineswegs in dem angegebenen Sinne eine allgemeine Eigenschaft ist, so soll hier auf jenen Unterschied weiter keine besondere Rücksicht genommen werden.



13. Die Ausdehnung ist diejenige Eigenschaft eines Körpers, vermöge welcher er überhaupt einen Raum einnimmt, nach drei Dimensionen: Länge, Breite und Tiefe oder Höhe; der Raum ist begrenzt, wodurch die Gestalt oder Form des Körpers bestimmt wird.

Die Dimensionen werden gemessen nach Ruthen, Fuß... Gegenwärtig bedient man sich bei naturwissenschaftlichen Messungen des französischen Maß-Systems: diesem liegt als Einheit zu Grunde le mètre, der 10.000,000ste Theil des Erdquadranten. Ein Meter = 3′ 2″ 2,898‴ wird eingetheilt in Decimeter, Centimeter, Millimeter. Die Figur stellt 1 Decimeter dar, deren erster Centimeter in Millimeter getheilt ist. Die größeren Maße sind Decameter, Hektometer, Kilometer = 1000 Meter. (Eine Meile = 7500 Meter.)

Körper von überaus geringer Ausdehnung sind z. B. der Blumenduft, die Blutkügelchen, von denen sich Millionen in einem Blutstropfen, der an einer Stecknadelspitze hängen bleibt, befinden. — Die Infusionsthierchen, von denen Millionen in dem Raume eines Sandkörnchens Platz haben.

Die Undurchdringlichkeit (Impenetrabilität) ist dagegen die Eigenschaft, vermöge welcher kein Körper gleichzeitig den Raum eines anderen einnehmen kann. Von beiden Eigenschaften überzeugen wir uns durch das Gesicht und das Gefühl; ein Körper ist ein seh- und tastbares Ding.

Der mathematische Körper ist ausgedehnt, ohne undurchdringlich zu sein. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit oder Raumerfüllung machen das Wesen des physischen Körpers aus; sie sind nothwendige allgemeine Eigenschaften eines jeden physischen Körpers.

Schon die Erfahrung, daß sich eine Flasche mit einer Flüssigkeit nicht füllen lasse, wenn die darin enthaltene Luft nicht

vorher entweichen kann, zeigt, daß auch die luftförmigen Körper undurchdringlich sind. Ein Trichter mit einer recht engen untern Oeffnung, luftdicht in den Hals einer Flasche gekittet, läßt kein Wasser durch. — Ein Bierglas, umgekehrt und senkrecht unter Wasser getaucht, wird am Boden nicht naß.

Das Eindringen der Dinte in Löschpapier, des Wassers in Holz widerspricht nicht der Undurchdringlichkeit, sondern ist eine Folge der Porosität (§ 16), eben so wenig das, daß wir in Luft und Wasser gehen können; da ja hier diese Materien erst auf einen andern Ort in Folge der Beweglichkeit gebracht worden sind (§ 17).

14. Theilbarkeit — mathematische ist unendlich, da man jeden Körper in beliebig viele Stücke getheilt denken kann; — die physische, vermöge welcher er durch Zerschlagen, Zerreißen, Zerreiben, Zerspritzen, Abgießen u. s. w. (nach Art seiner Aggregatsform) in kleinere und immer kleinere Theile getrennt werden kann. Daß die Theilung der Körper unglaublich weit, die sinnliche Wahrnehmung überschreitend, gehen kann, beweisen Natur und Kunst.

Riechende Substanzen, z. B. Moschus, Reseda, riechende Oele, Räucherkerzchen, Kampfer; Auflösung von färbenden Stoffen, z. B. Karmin, Indigo; der Geruch des auf den Küsten der Provence wachsenden Rosmarins verbreitet sich 20 bis 30 Meilen weit über die See. Ein Faden, an dem sich eine Spinne herabläßt, soll aus 6770 anderen dünnen Fäden bestehen. — Ein Pfund Baumwolle kann zu einem Faden von 40 deutschen Meilen gesponnen werden. Ein Loth Gold läßt sich in einen Draht von 140 Meilen ziehen. Man hat Gold-, Stahl- und Platin-Drähte von so außerordentlicher Feinheit gemacht, daß man sie mit bloßen Augen nicht mehr sehen kann und kaum fühlen konnte. In eine zylindrische Form von 22 Zoll Länge und $^5/_4$ Zoll Durchmesser wurde in der Achse ein sehr dünner Draht von Gold oder Platina oder Stahl, dessen Durchmesser von dem der Form nur den zehnten Theil betrug, angebracht, und hierauf die Form mit geschmolzenem Silber gefüllt. Indem nun der herausgenommene Metallkörper durch immer engere Löcher gezogen wurde, entstand der feine Draht. Der Silberdraht, mit dem Kern aus Gold, Platina oder Stahl, hatte nach Wollaston zuletzt $^1/_{500}$ Zoll Dicke. Durch Salpetersäure wurde das Silber vom Golde und Platina, vom Stahl aber durch Quecksilber getrennt, und so blieb der Gold-, Platina- oder Stahldraht zurück, der, da er nur ein Zehntheil so dick, als der Zylinder war, nur eine Dicke von $^1/_{5000}$ Zoll haben konnte. Um einen solchen Draht halten zu können, muß das Silber an seinen Enden unaufgelöst bleiben. 500 Fuß solchen Golddrahts wiegen erst einen Gran oder 3,654006 Korn. Frauenhofer hat auf Glas und Metall so überaus feine und so unglaublich nahe an einander liegende parallele Linien eingeschnitten, daß die Theilung eines Zolles in 10,000 Theile ganz genau und in 32,000 Theile fast genau war. — Die Arzneimittel der Homöopathen theilen einen Gran in Quintillionen-Theile.

15. Ausdehnbarkeit (Expansibilität) ist die Eigenschaft der Körper, einen größeren, Preßbarkeit oder Zusammendrückbarkeit (Kompressibilität) dagegen die Eigenschaft, einen kleineren Raum einzunehmen. Da Volumen den äußeren Umfang eines Körpers bezeichnet, so kann man sagen: durch die Ausdehnbarkeit kann eines Körpers Volumen vergrößert, durch die Zusammendrückbarkeit verkleinert werden.

Das kräftigste Mittel, das Volumen der Körper zu ändern, ist die Wärme. Häufig werden aber auch angewendet Zug, Druck, Pressen 2c., z. B. bei dem Gepräge der Münzen und Medaillen, bei dem Abdrücken derselben in weiche Massen, wie in Thon, Wachs, Gyps.

16. Die Körper haben auf ihrer Oberfläche und in ihrem Innern Räume, die nicht mit der Materie derselben, sondern mit anderen Stoffen, gewöhnlich mit Luft oder Wasser, angefüllt sind. Die Zwischenräume heißen Poren, und die Eigenschaft der Körper, daß die von ihnen eingenommenen Räume nicht überall von ihrer Materie erfüllt sind, heißt die Porosität. Sie hat verschiedene Grade; man nimmt sie wahr mit bloßen Augen, durch Vergrößerungsgläser, und wo auch diese nicht zureichen, schließt man aus Versuchen auf ihr Vorhandensein.

Die Poren müssen desto kleiner werden, je mehr die Materie zusammengedrängt wird, je mehr also Materie in einem bestimmten Raume ist. Mit dem Worte Masse bezeichnen wir die Menge der Materie, und aus der Vergleichung der Masse eines Körpers mit seinem Volumen entsteht der Begriff der Dichtigkeit. Ein Körper ist desto dichter, je mehr Masse er bei einem bestimmten Volumen hat; es giebt also Grade der Dichtigkeit, und ein vollkommen dichter Körper müßte ohne Poren sein.

Schwamm, Kork, Leder, Holz — unsere Haut, durch welche der Körper ausdünstet, hat auf der Fläche eines Quadratzolles über tausend, also bei einem ausgewachsenen Menschen von etwa 15 Q.-F. Oberfläche, über 2 Millionen Poren — das Eindringen des Regens in die Erde, das Aufquellen fester Körper in flüssigen, z. B. des Holzes, der Thüren, Fenster, Hülsenfrüchte; die Pflanzen nehmen durch ihre Poren Wasser und Gase auf und stoßen Luftarten aus. — Aus Holz im Wasser und eben so aus bloßem Wasser unter dem Rezipienten der Luftpumpe und beim Kochen steigen Luftblasen auf — Wasser und Quecksilber können mittelst der Luftpumpe durch Holz und Leder getrieben werden. — Salz im Wasser aufgelöst, vergrößert sein Volumen nicht. — Wasser und Weingeist, eben so Wasser und Schwefelsäure mit einander vermischt, nehmen weniger Raum ein, als ihre Räume zusammen vor der Mischung betrugen. Auch Steine und porös, wie man das an den aus Flüssen und Meeren herausgenommenen sieht, wenn man sie zerschlägt. Eine mit Wasser gefüllte Goldkugel, welche in Florenz 1661 einem sehr starken Drucke ausgesetzt wurde, ließ Wassertröpfchen, die gleichsam einen Thau bildeten, durch; aber Glas läßt weder Flüssigkeiten noch Gase durch, ist daher so wichtig für Aufbewahrung der Stoffe.

17. Beweglichkeit oder Bewegbarkeit bezeichnet die Fähigkeit der Körper, ihren Raum zu verändern, durch Kräfte von einer Stelle zur andern bewegt werden zu können. Man nennt in dieser Beziehung die Materie das Bewegliche im Raume.

18. Elastizität (Federkraft, Springkraft, Schnellkraft) bezeichnet die Eigenschaft der Körper, mittelst welcher sie, wenn ihre Gestalt in irgend einer Art durch eine äußere Kraft geändert worden ist, von selbst, sobald die Kraft zu wirken aufhört, die ursprüngliche Gestalt wieder annehmen. Elastisch werden also alle Körper sein, welche, wenn sie zusammengedrückt worden sind, sich von selbst ausdehnen; wenn sie ausgedehnt worden sind, sich von selbst zusammenziehen; wenn sie zusammengebogen worden sind, sich von selbst zurückbiegen; oder wenn sie gedreht worden sind, sich wieder von selbst zurückdrehen. Die Elastizität fester Körper prüfte man, indem man sie 1) nach ihrer

Länge ausdehnte, 2) indem sie an beiden Enden unterstützt oder nur mit dem einen Ende fest eingeklemmt wurden, und hierauf im ersten Falle durch eine Last in der Mitte, im zweiten Falle durch eine Last in der Mitte, im zweiten Falle durch eine Last am andern Ende heruntergebogen wurden, 3) indem man sie um ihre Axe drehte. Nur die festen Körper haben die doppelte Eigenschaft, sowohl sich auszudehnen, wenn sie zusammengedrückt, als auch sich zusammenzuziehen, wenn sie ausgedehnt worden sind. Es giebt Grade der Elastizität.

Die größte Elastizität findet man an gehärtetem Stahl, geschlagenem Messing (Kupfer, Zink), Glockengut (Kupfer, Zink, Zinn), Elfenbein, Knochen. Interessant sind die Versuche mit Kugeln aus Federharz (Kautschuck, gummi elasticum), Elfenbein, Marmor, Achat 2c., welche man auf eine geschwärzte Steintafel aus gleichen Höhen auffallen läßt. Ballspiel, Billardspiel, Federn in Kanapees, Degenklingen, Stahlstreifen, Fischbein und Rohr in Regenschirmen, die Seile der Seiltänzer. Bei den Ballisten und Katapulten der Alten (Archimedes 212 v. Chr. — Syrakus — Marcellus) wirkte, wie beim Pfeilschießen mittelst gespannter Bogen, die Elastizität als bewegende Kraft. Das Glas ist insofern sehr merkwürdig, als es höchst elastisch und höchst spröde zugleich ist; Ersteres beweisen unter andern die Glasfäden und die sogenannten Glastrompeten; Letzteres die Bologneser Fläschchen, die Glastropfen und Glaswürmer, die bei ihrer Bereitung sehr schnell abgekühlt werden.

Die flüssigen Körper, insbesondere Wasser, kehren zwar, wenn sie zusammengedrückt worden, was nach Versuchen von Oersted, Colladon und Sturm nur in geringem Grade möglich ist, nach Wegräumung der zusammendrückenden Kraft in den ursprünglichen Raum zurück; ob sie dieses aber auch thun, wenn sie ausgedehnt worden sind, wissen wir bis jetzt noch nicht, weil uns außer der Wärme kein anderes Mittel bekannt ist, tropfbare Körper auszudehnen. Bei den luftförmigen Körpern können wir auch nur eine solche einseitige Elastizität annehmen. Sie lassen sich in einen engern Raum bringen, und dehnen sich wieder von selbst aus; aber sie können, dem ihnen eigenthümlichen Bestreben, einen immer größeren Raum einzunehmen, zuwider, nie einen kleineren von selbst einnehmen. Wir nennen diese Eigenschaft der Luftarten Ausdehnsamkeit oder Expansion.

Eine aufgeblasene Rindsblase nimmt Eindrücke an, die von selbst vergehen. — Ein senkrecht ins Wasser getauchtes Glas springt, losgelassen, von selbst in die Höhe. — Ein in einem verschlossenen Zylinder herunter bewegter, genau anschließender Kolben geht, losgelassen, von selbst in die Höhe. — Attraktive und expansive Elastizität.

19. Attraktion (Anziehung) ist die allgemeinste Bezeichnung sowohl für das Bestreben der Körper, sich einander zu nähern und sich mit einander zu verbinden, theils durch bloßes Aneinanderhängen, theils durch eine wechselseitige Durchdringung, als auch für das Bestreben der Theile desselben Körpers, aneinander zu hängen und so ein Ganzes zu bilden. Diese Anziehung äußert sich theils nur bei der Berührung oder in unmerklicher Entfernung und ist als solche Kohäsion, Adhäsion, Kapillar-Attraktion, chemische Anziehung, theils in jeder denkbaren Entfernung und ist als solche Schwere und Gravitation. Die hierher gehörenden Erscheinungen zeigen be-

sonders deutlich, daß die Materie mit Kräften versehen ist. Man kann Molekularkräfte und Massenkräfte unterscheiden, je nachdem man von der Anziehung der einzelnen Körpertheile untereinander oder der Körper selbst spricht.

20. Kohäsion (Kohärenz) bezeichnet die Stärke des Zusammenhanges der Theile eines Körpers, so lange er noch wirklich ein ungetrenntes Ganze bildet. Sie ist die Folge der Kohäsionskraft, d. i. der Anziehung der Körpertheile untereinander, und sie offenbart sich durch den Widerstand, welchen die Körper der Theilung entgegensetzen. Die Stärke der Kohäsion oder die Festigkeit starrer Körper hat man auf dreierlei Art geprüft. Man hat nämlich prismatische Körper von gleicher Schnittfläche aus verschiedenen Materien verfertigt und untersucht, welche Kraft (in Gewichten ausgedrückt) sie in der Richtung ihrer Länge zerreißen, z. B. Holzstäbe von 0,27 Zoll Durchmesser aus Buchen rissen bei 1250 Pfund, Eichen bei 1150, Linden bei 1000, Tannen bei 600, Fichten bei 550 Pfund; ferner welche Kraft sie, an beiden Enden unterstützt, senkrecht auf die Richtung der Länge zerbrechen, und endlich welche Kraft sie, wenn sie dieselben nach der Längenrichtung zusammenzudrücken strebt, zerdrücken kann. Diese Kräfte sind das Maaß der absoluten, relativen und zurückwirkenden Festigkeit der Körper.

Nach Muschenbröck, Morveau und Anderen folgen die Metalle, hinsichtlich ihrer Festigkeit, so auf einander: Eisen, Kupfer, Platina, Silber, Gold, Zink, Zinn, Blei; Buchenholz ist zwei Mal fester als Tannenholz; ein seidener Faden drei Mal fester als ein leinener.

Es giebt manche Mittel, die Kohäsion zu verstärken, z. B. bei den Metallen das Schmieden, Hämmern und Walzen, auch chemische Beimischungen, wobei es oft auf das quantitative Verhältniß ankommt; bei Papier, Leder, Zeugen das Pressen; bei den Tüchern das Pressen und Walken. Durch alle diese Mittel werden die Poren kleiner, die Theile rücken näher aneinander, ziehen sich stärker an und die Festigkeit muß zunehmen.

Messing kann durch Hämmern drei Mal fester gemacht werden; Eisendraht von $^1/_{10}$ Zoll Dicke wird durch 450 Pfd., ein Draht von Stahl (Eisen mit Kohlenstoff) von derselben Dicke erst von 900 Pfd. zerrissen. Auf Elephanten schießt man mit Kugeln aus Blei und Zinn. Der mehrere Millionen Pfund schwere Granitblock, auf welchem die Statue Peter's des Großen steht (Petro primo Catharina secunda 1792) zerdrückte bei seiner Fortbewegung aus dem Gebirge alle Kugeln aus Eisen und Messing (3 Th. Kupfer und 1 Th. Zink), nicht aber Kugeln aus Kupfer und Zink, als dazu mehr Zink, als zum gewöhnlichen Messing genommen wurde.

Ungebleichte Faden sind fester, als gebleichte; geflochtene Faden haben mehr Festigkeit, als wenn sie parallel neben einander liegen. Zu starkes Drehen schadet der Festigkeit der Stricke; man theert Stricke, um sie vor Wasser und Luft zu schützen, auf Kosten der Festigkeit.

Bei manchen festen Körpern ist die Festigkeit nach verschiedenen Richtungen auch verschieden stark, so spaltet sich z. B. Holz, Fischbein am leichtesten nach der Längenrichtung der Fasern. Federspulen. — Das Spalten der Krystalle (§ 23).

Die Expansion der Luftarten (§ 18) führt auf die Annahme einer Expansionskraft als einer Kraft, durch welche sich die Körpertheile wechselseitig abstoßen, und welche mithin der Kohäsionskraft entgegengesetzt ist. Als die Folge des Größenverhältnisses dieser beiden Kräfte kann man sich die drei Aggregatszustände der Körper (Festigkeit, Tropfbarkeit, Ausdehnsamkeit) und ihre verschiedenen Abstufungen denken. Bei einem festen Körper ist die Kohäsionskraft überwiegend, bei einem luftförmigen dagegen die Expansionskraft, während bei einem flüssigen Körper diese beiden Kräfte sich im Gleichgewichte befinden.

21. Adhäsion bezeichnet die wechselseitige Anziehung getrennter Körper, welche gleichartig oder ungleichartig, von gleichen oder verschiedenen Aggregatszuständen sein können, bei unmittelbarer Berührung. Die Körper adhäriren desto stärker, in je mehr Punkten sie sich berühren. Die Adhäsion ist eine Flächenanziehung.

Adhäsionsplatten. Wird eine bleierne Kugel in zwei Theile geschnitten, die Theile darauf an einander gedrückt, so bleiben sie an einander hängen. — Schwimmende Körperchen ziehen sich an, das Anhängen des Staubes an die Decken und Wände der Stuben, das Zeichnen und Schreiben mit Bleistiften, schwarzer Kreide, Rothstein, Pastellstiften. Das Vergolden, Verzinnen, Kitten, Löthen, Siegeln, Lackiren, Anstreichen, Malen, Schreiben mit Dinte, Drucken, Lithographiren, Leimen, Kleistern, Mauern; wenn die vorher flüssigen Bindemittel fest werden, entsteht eine weit stärkere Kohäsion. Das Naßwerden eines in Wasser getauchten Körpers, das Hinunterfließen des Wassers, Bieres 2c. am Rande des Glases beim Ausgießen. — Zwei Tropfen Wasser ziehen sich auf Oel- oder Wachspapier an und vereinigen sich zu einem größeren Tropfen, eben so zwei Quecksilbertropfen auf gewöhnlichem Papier — wenn feste Körper in flüssige eingetaucht werden, kommen Luftblasen in die Höhe, z. B. aus Zucker im Wasser. Die adhärirende Luft an den innern Wänden der Barometerröhre ist durch Kochen derselben herausgetrieben worden. Aus Wasser unter der Luftpumpe steigen Luftblasen in die Höhe. — Die Gase haften in unendlich dünnen Schichten an der Oberfläche fester Körper; doch ist diese Schicht nicht im Stande, eine zweite Schicht festzuhalten.

Vorzüglich merkwürdig ist die Adhäsion zwischen den festen und flüssigen Körpern. Es kann dabei nämlich die Kohäsion der Flüssigkeitstheile unter einander größer sein, als die Adhäsion zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit, oder es findet das Umgekehrte statt. Je nachdem Dieses oder Jenes der Fall ist, hängt sich die Flüssigkeit an den festen Körper und macht ihn naß oder nicht. Kleine Mengen der Flüssigkeit auf feste Körper gethan, zerfließen im ersten, und bilden Tropfen im zweiten Falle.

Wasser, Weingeist, Oele benetzen Metalle, Glas, Holz, Stricke, den menschlichen Körper; Wasser aber benetzt nicht befettete, mit Wachs überzogene, mit Bärlappsamen (Hexenmehl, semen lycopodii) bestreute oder bestaubte Körper; so wie Quecksilber alle Metalle (Eisen ausgenommen) benetzt (Amalgame), aber nicht Glas, Holz, Leinwand, Papier, Horn, Porzellan. — Die Oelfirnisse sind daher wasserabhaltend, sie machen wollene Zeuge und Filzhüte wasserdicht, wie das Wachs die Seide. Das in Steinkohlenöl, Steinöl, Terpentinöl 2c. aufgelöste Kautschuck macht Leder und Zeuge, auf welche es mit Pinseln gestrichen wird, wasserdicht. — Wasserfarben können auf keine fetten, Oelfarben auf keine nassen, festen Körper aufgetragen werden. Das Herabfließen des Wassers an der äußeren Seite des Glases, beim Ausgießen desselben, wird verhindert durch Bestreichen des Randes mit Fett.

Morveau prüfte die Adhäsion fester Körper an flüssige mittelst eines Waagebalkens, indem er die aus den zu untersuchenden Materien angefertigten gleich großen Platten an den einen Arm desselben aufhing und mit der

Flüssigkeit in Berührung brachte, hierauf aber auf die Waageschale des anderen Armes so lange Gewichte auflegte, bis die Lostrennung der Platte von der Flüssigkeit erfolgte. Die Metalle folgten hinsichtlich ihrer Adhäsion an Quecksilber, das stärker adhärirende immer vorangesetzt, so auf einander: Gold, Silber, Zinn, Blei, Wismuth, Zink, Kupfer, Spießglanz, Eisen, Kobalt. —

Alle Flüssigkeiten, welche feste Körper benetzen, ziehen sich auch an diesen, wenn man sie zum Theil hineintaucht, in die Höhe, so daß eine solche Flüssigkeit unmittelbar um den zum Theil hineingetauchten festen Körper eine merkliche Erhöhung bildet; alle Flüssigkeiten dagegen, welche feste Körper nicht benetzen, ziehen sich an ihnen herab und bilden so Vertiefungen um einen in sie zum Theil eingetauchten Körper. Jene Flüssigkeiten haben in Gefäßen eine vertiefte (konkave), diese eine erhabene (konvexe) Oberfläche. Sind die Gefäße sehr weit, so zeigt sich die Konkavität oder Konvexität nur an den Rändern derselben durch eine schwache Erhöhung oder Erniedrigung der Flüssigkeit.

An einem ins Wasser gesteckten Glasstäbchen zieht sich das Wasser herauf: steckt man es dagegen in Quecksilber, so zieht sich dieses herab. Wasser in gläsernen Gefäßen hat eine konkave, Quecksilber aber eine konvexe Oberfläche; Wasser in einem mit Hexenmehl, Fett oder Wachs inwendig überzogenen Gefäße eine konvexe, wie Quecksilber in zinnernen Gefäßen eine konkave Oberfläche.

Diese Erscheinungen werden lediglich durch gleichzeitige Wirkung der Adhäsion und Kohäsion hervorgerufen. Ist die Adhäsion zwischen der Materie des festen Körpers oder des Gefäßes und der Flüssigkeit stärker, als die Kohäsion der Flüssigkeitstheile, so findet dort eine Erhöhung der Flüssigkeit, bewirkt durch die über derselben sich befindende und sie anziehende Materie, statt, und hier, da es eine Erhöhung von allen Seiten geben muß, eine konkave Oberfläche. Im umgekehrten Falle ist auch die Erscheinung umgekehrt.

22. Sehr enge, an beiden Enden offene Röhrchen heißen Haarröhrchen (tubuli capillares). Wird ein solches Röhrchen zum Theil in eine Flüssigkeit getaucht, so bemerkt man diese innerhalb entweder höher oder niedriger als außerhalb stehen und in jenem Falle mit konkaver, in diesem mit konvexer Oberfläche. Die Erhöhungen und Erniedrigungen sind desto bedeutender, je enger die Röhrchen sind; und es finden jene statt, wenn die Flüssigkeit die Materie des Röhrchens netzt; diese, wenn dieses nicht der Fall ist.

Diese Erscheinungen heißen Kapillarphänomene (Haarröhrchen-Erscheinungen) und zwar unterscheiden wir dabei die Kapillar-Attraktion (Haarröhrchen-Anziehung), wenn die Flüssigkeit inwendig höher als auswendig steht, von der Kapillar-Depression (Haarröhrchen-Abstoßung), wenn sie inwendig niedriger als auswendig steht. Daß auch die Kapillarphänomene auf der Wirkung der Adhäsion und Kohäsion beruhen, ist besonders bei der Kapillar-Attraktion sehr leicht einzusehen. Zuerst erhebt sich nämlich die Flüssigkeit rings herum um den innern Rand der Röhre, weil die Materie derselben die Flüssigkeit stärker anzieht, als diese durch eigene Kohäsion zusammenhängt. Da das Röhrchen aber sehr enge ist, die Höhlung zwischen den Seiten-

erhebungen also noch enger, diese einander demnach sehr nahe sind, so tritt die Adhäsion der einander sehr nahen Flüssigkeitsmassen unter sich und ein Zusammenfließen ein. Hierauf wirkt von neuem die stärkere Adhäsion der Wände gegen die Flüssigkeit, dann die Adhäsion der Flüssigkeitsmassen unter sich, und so folgen Seitenerhebungen und Zusammenfließen abwechselnd auf einander, so lange bis das Gewicht der gehobenen Flüssigkeitssäule den hebenden Kräften der Röhrenwand über der Flüssigkeit das Gleichgewicht hält.

Das Aufschwellen der Stricke, der Darmsaiten, des Holzes rc., wenn sie feucht werden; das Eindringen jeder Flüssigkeit in Schwamm, Löschpapier; das Naßwerden des Sandes, der Asche, der Erde, der Mauern, durch darunter befindliches Wasser; das Hinaufsteigen des Wassers, der Milch rc. in Zucker, wenn auch nur ein kleiner Theil des letzteren in die Flüssigkeit gebracht wird; das Hinaufsteigen des Talges, Wachses, Oeles in Licht- und Lampendochten und in engen Glasröhrchen, deren man sich statt der Dochte bedient. Das Hinüberbringen des Wassers aus einem Glase in ein anderes, mittelst eines aus rohem Flachse geflochtenen Zopfes u. s. w. Alle solche Erscheinungen sind aus dem über Haarröhrchen Gesagten begreiflich, wenn man annimmt, daß die Poren mancherlei enge Kanäle bilden; bei den Dochten entstehen diese Kanäle durch die neben einander sehr nahe und parallel liegenden Fäden.

Quellendes Holz übt, wenn seinem Aufquellen Hindernisse in den Weg gesetzt werden, so große Gewalt aus, daß es metallene Bänder, Mühlsteine, ja Felsen sprengen kann. — Die Knochen der Schädel trennt man durch quellende Erbsen. Wie macht man, durch Trockniß locker gewordene Fässer brauchbar? Wie kann Holz mittelst Feuer und Wasser gekrümmt werden? Wie kann man das Aufschwellen des Holzes benutzen, um auf Holz erhabene Buchstaben anzubringen?

23. Chemische Anziehung (Wahlanziehung, Verwandtschaft, Affinität) ist die Anziehung verschiedenartiger Körper, durch welche sie sich so innig wechselseitig durchdringen, daß ein neuer durchgängig gleichartiger Körper entsteht. Eine solche Verbindung ungleichartiger Körper zu einem durchgängig gleichartigen neuen Körper heißt eine chemische Zusammensetzung oder eine Mischung. Von ihr ist zu unterscheiden die mechanische Zusammensetzung oder das Gemenge, welches eine Verbindung ungleichartiger Körper ist, wobei diese gar keine Veränderung erleiden.

Die Körper, welche sich mit einander zu einer Mischung verbinden, heißen die Bestandtheile derselben; die in einem Gemenge vorkommenden Körper dagegen nennt man Gemengtheile. Die Bestandtheile lassen sich in der Mischung von einander nicht unterscheiden, wohl aber die Gemengtheile im Gemenge.

Weingeist mit Wasser, Salz oder Zucker mit Wasser, Harz mit Weingeist, Oel und Laugensalz zu Seife, Schwefel und Quecksilber zu Zinnober, Sand und Pottasche zu Glas, Zink und Kupfer zu Messing u. s. w. Dagegen Korn und Gerste, Sand und Wasser, Oel und Wasser, Oel und Essig u. s. w.

Die zweite Hauptoperation der Chemie ist die Scheidung (chemische Zersetzung, Zerlegung oder Trennung, § 246); sie ist der Mischung entgegengesetzt. Auch sie beruht in den meisten Fällen auf der chemischen Anziehung, indem man z. B. zu einem aus zwei Bestandtheilen bestehenden Körper einen anderen Körper bringt, der zu

einem der beiden Bestandtheile eine größere Verwandtschaft als zu dem zweiten hat; er verbindet sich dann mit dem ersten zu einem neuen Körper und macht den zweiten frei (chemische Wahlverwandtschaft). Die chemische Zerlegung ist nicht zu verwechseln mit der mechanischen. Hier sind die erhaltenen Theile mit dem Ganzen von einerlei, dort von verschiedener Art.

Mit der chemischen Anziehung der Stoffe ist eine Eigenthümlichkeit der Kohäsion verbunden, welche sich in gewissen Richtungen stärker als nach anderen hin zeigt, den Blätterdurchgang der Mineralien (Glimmer) und ihre Krystallisation bewirkt. Die letztere erfolgt, wenn ein Körper aus dem flüssigen oder luftförmigen Zustand in den festen übergeht — Schneesterne, deren Grundform drei unter 60° sich schneidende Axen — die mannichfachen Abänderungen in Gehler VIII. Fig. 174 bis 269. Die 6 Krystall-Systeme weist die Mineralogie nach; und daß Körper von gleichen chemischen Bestandtheilen zu demselben Krystall-System gehören. Der dreifache Blätterdurchgang des Kalkspath giebt die Grundform des Rhomboeders mit Flächen-Winkeln von 105° 5′. Doch finden sich Ausnahmen: Dimorphismus, wenn derselbe Stoff sich in verschiedenen Gestalten zeigt, wie Kohlenstoff als Diamant und Graphit — und Isomorphismus: gleiche Gestalt bei verschiedenen chemischen Bestandtheilen.

Harz und Kampfer lösen sich in Weingeist auf; soll das Harz oder der Kampfer ausgeschieden werden, so gießt man Wasser hinzu. Das Wasser verbindet sich mit dem Weingeist, und man erhält das Harz oder den Kampfer allein.* Die chemische Zerlegung des Wassers giebt Sauerstoffgas und Wasserstoffgas; die mechanische kleinere Wassermengen, Wassertropfen.

24. Schwere bezeichnet die Anziehung unserer Erde, welche sie auf alle Körper, die sich auf ihr und in geringen Entfernungen von ihr befinden, ausübt. Sie macht, daß alle Körper, welche nicht unterstützt werden, zur Erde fallen, und zwar immer in senkrechter Richtung auf die Oberfläche derselben; weshalb ein fallender Körper, wenn er weiter fallen könnte, den Mittelpunkt der Erde, da sie ungefähr als eine Kugel betrachtet werden kann, erreichen müßte. Die Schwere treibt, sagt man, alle Körper nach dem Mittelpunkte der Erde, und die Richtungen der Schwere an verschiedenen Orten der Erde vereinigen sich also alle verlängert im Mittelpunkte derselben. Diese Richtungen der Schwere nimmt man jedoch, wenn die Orte nicht weit von einander entfernt sind, wegen des sehr großen Erdhalbmessers, als parallel an.

Die Anziehung der Erde offenbart sich nicht blos durch den Fall der Körper, sondern auch durch den Druck, welchen sie ausüben, wenn man sie auf die Hand oder überhaupt auf eine Unterlage bringt, so wie durch den Zug, durch welchen sie Faden und Seile, wenn jene aufgehangen werden, ausspannen; in beiden Fällen wird das Fallen nur verhindert, aber das Bestreben der Körper, zu fallen, zeigt sich eben durch den Druck und Zug. Dieser Druck eines Körpers heißt sein Gewicht, welches desto größer ist, je mehr Masse er hat; so

daß Gewicht und Masse eines Körpers im geraden Verhältnisse zu einander stehen.

Man unterscheidet absolutes und spezifisches Gewicht. Das absolute Gewicht eines Körpers giebt an, in welchem Verhältnisse sein Druck zum Drucke gewisser unter dem Namen Gewichte (Zentner, Stein, Pfund, Loth. Anschließend an die § 13 erwähnte Längen-Einheit ist die Gewichts-Einheit: ein Gramm, das Gewicht eines Kubik-Centimeters destillirten Wassers (bei 4° C.) mit den Unterabtheilungen: Decigramm, Centigramm, Milligramm = $^1/_{1000}$ Gramm; und aufsteigend: Decagramm, Hektogramm, Kilogramm = 1000 Gramm. Das Pfund 500 Gramm, der Zoll-Centner 100 Pfund.) vorkommender Körper steht. Das spezifische Gewicht eines jeden Körpers bestimmt man, indem man angiebt, wie viele Male schwerer oder leichter er ist, als Wasser von genau demselben Volumen.

Das absolute Gewicht wird immer durch benannte, das spezifische dagegen immer durch unbenannte Zahlen ausgedrückt, z. B. dieses Brot wiegt drei Pfund, das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist vierzehn: ein Kubikzoll Quecksilber ist 14 mal so schwer als ein Kubikzoll Wasser.

Alle Körper sind gleich schwer, heißt: die Erde zieht alle Körper in derselben Entfernung gleich stark an, oder alle haben ein gleich starkes Bestreben, zur Erde zu fallen. Körper von verschiedener Dichtigkeit und Größe würden, von derselben Höhe herabfallend, auch genau in demselben Augenblicke die Erde erreichen, wenn die Luft, welche die Erde umgiebt, nicht einen Widerstand leistete, den ein Körper desto leichter überwindet, je dichter er ist und je weniger Oberfläche er der Luft beim Fallen darbietet. (§ 134, 12.)

Der Körper A (Eisen) ist schwerer, als der Körper B (Holz), wie man oft hört, hat auf den Druck oder das Gewicht, nicht aber auf die Erdschwere, welche nur der Grund jenes Druckes ist, Bezug. Gewicht ist von der Masse abhängig, Schwere dagegen unabhängig.

25. Wie die Erde alle Körper in der Nähe anzieht, so übt sie auch eine Anziehung aus auf alle anderen Himmelskörper in der Ferne, und diese wiederum auf sie und auf einander. Diese wechselseitige Anziehung aller Weltkörper, wodurch ihre Bewegungen bestimmt werden, von der Erdschwere nicht wesentlich verschieden, heißt Gravitation oder allgemeine Schwere, auch kosmische Schwere. Die Anziehung, welche ein Körper auf einen anderen ausübt, wächst mit seiner Masse und vermindert sich mit seiner Entfernung, und zwar nach folgendem Newton'schen Gesetze: Alle Körper ziehen sich an und zwar im geraden Verhältnisse ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate ihrer Entfernungen.

Die Sonne hat eine etwa 800 Mal größere Masse, als alle uns bis jetzt bekannten Planeten zusammen, und kann deshalb selbst den entferntesten derselben, den Neptun, der von ihr fast 780 Millionen Meilen entfernt ist, noch mächtig anziehen. — Der Mond, 60 Erdhalbmesser vom Mittelpunkte der Erde entfernt, wird daher von der Erde $60^2 = 3600$ Mal schwächer angezogen, als die auf der Oberfläche der Erde sich befindenden Körper. Die Schwere muß desto geringer sein, je näher wir uns dem Aequator auf der an den Polen

abgeplatteten Erde und je höher wir uns in der Atmosphäre befinden. — Die Erscheinungen der Ebbe und Fluth beruhen vorzugsweise auf der Anziehung, welche der Mond auf die Erde ausübt; auch die Sonne wirkt dabei, jedoch schwächer (Math. Geogr. S. 89).

Statik & Dynamik Mechanik

Zweiter Abschnitt.

Von der Ruhe und Bewegung im Allgemeinen und von den Hindernissen der Bewegung.

26. Unter dem Orte eines Körpers versteht man den Raum, welchen er einnimmt. Der Raum, welchen der Körper einnehmen muß, weil er eben ein Körper ist, heißt sein absoluter, und der, in welchem er ist, in Bezug auf andere Körper, sein relativer Ort oder seine Lage.

27. Ein Körper ruht, wenn er in derselben Lage verbleibt, er bewegt sich, wenn er seine Lage ändert, oder: Ruhe eines Körpers ist Verbleiben in seiner Stellung zu anderen Körpern, Bewegung dagegen Veränderung dieser Stellung zu anderen Körpern. Wir kennen nur relative Ruhe und Bewegung. Unsere Urtheile über Ruhe und Bewegung gründen sich aber oft auf Täuschungen; daher unterscheiden wir eine wahre und eine scheinbare Ruhe und Bewegung der Körper.

Alle Gegenstände am Ufer scheinen sich der Richtung der Bewegung des Schiffes, die man gar nicht merkt, entgegengesetzt zu bewegen; ein Gleiches findet statt, wenn man schnell, wie z. B. auf der Eisenbahn, vor einer Reihe von Bäumen vorüberfährt; die Sonne scheint sich zu bewegen und die Erde still zu stehen; wenn man sich schnell auf einem Fuße um sich selbst dreht, bewegen sich scheinbar die Stubenwände und die Gegenstände an ihnen um uns in entgegengesetzter Richtung. Ob es irgend einen Körper in absoluter Ruhe giebt (die Central-Sonne: Math. Geogr. S. 97), wissen wir nicht; unsere Sonne, welche man früher wohl als feststehend annahm, bewegt sich im Weltraume. — Der Nagel in einem segelnden Schiff befindet sich in relativer Ruhe, aber in absoluter Bewegung.

28. Die Materie ist gleichgültig gegen Ruhe und Bewegung, d. h. von selbst geräth sie weder in Bewegung, wenn sie im Zustande der Ruhe, noch in Ruhe, wenn sie im Zustande der Bewegung ist; immer ist zu diesem Uebergange aus dem einen Zustande in den entgegengesetzten eine Kraft, so wie zur Annahme des neuen Zustandes eine gewisse, wenn auch oft nur eine unmerkliche Zeit nöthig. Man nennt diese Eigenschaft eines jeden Körpers, welche ein Hauptgesetz aller Bewegung ist, Beharrungsvermögen, weniger gut Trägheit (vis inertiae).

Einen ruhenden Wagen in Bewegung zu setzen, kostet mehr Kraftaufwand, als den schon bewegten in Bewegung zu erhalten; beim schnellen Laufen, besonders von einer Anhöhe herab, plötzlich stehen zu bleiben, ist sehr schwer; die Pferde sieht man beim Wettrennen immer über das festgesteckte Ziel hinausrennen.

Weil die Mittheilung der Bewegung und Ruhe Zeit erfordert, so können, wenn sich mehrere nicht im strengsten Sinne ein Ganzes ausmachende Körper bewegen, und der eine in Ruhe versetzt wird, die anderen dennoch eine kurze Zeit in der ursprünglichen Richtung ihre Bewegung fortsetzen, und im umgekehrten Falle umgekehrt. — Bleibt der Wagen beim Fahren plötzlich stehen, so schwanken wir mit dem Oberkörper vorwärts; so wie rückwärts, wenn der stillstehende Wagen plötzlich fortgezogen wird. Ziehen wir einen Teller, eine Schüssel, ein Glas, welche voll Wasser sind, schnell nach einer Seite hin, so fließt das Wasser auf der entgegengesetzten Seite zum Theil heraus. — Stößt man beim Schreiben mit der vollen Feder an eine Unebenheit des Papiers, wodurch die Feder in einen augenblicklichen Stillstand geräth, so spritzt die Dinte vorwärts; hängt an einer ruhenden Feder ein Tropfen Dinte, so fällt dieser bei plötzlicher Bewegung der Feder, am besten aufwärts, herab. Die auf ihrem Stiele locker gewordene Axt wird wieder fest, wenn man mit dem unteren Ende des Stieles der Axt mehrere Male auf einen harten Körper stößt. — Legt man ein Kartenblatt mit einem Geldstück auf ein Glas, und schnellt es stark mit dem Finger von der Seite, so fliegt das Blatt weg, während das Geldstück auf der Stelle bleibt; aber, weil es nicht mehr unterstützt ist, ins Glas hineinfällt. — Wird ein thönernes Pfeifenrohr an zwei Haaren horizontal aufgehangen, so bricht der Stiel und die Haare bleiben ganz, wenn man stark auf die Mitte des Stieles schlägt; die Haare aber reißen und der Stiel bleibt ganz, wenn man ihn in der Mitte langsam zu drücken anfängt, und immer stärker drückt. Eine bleierne Kugel nach einer Glasscheibe geworfen, zertrümmert sie; auf sie geschossen, verursacht sie nur ein rundes Loch. Mohnköpfe können durch einen kräftigen Hieb mit einem Stocke abgeschlagen werden, ohne daß die Stengel wanken; so wie schon manchem Infanteristen durch eine Kanonenkugel das Gewehr zerschlagen wurde, ohne daß er es merkte.

29. Bei jeder Bewegung hat man seine Aufmerksamkeit vorzugsweise zu wenden auf: a) die Ursachen der Bewegung, b) die Richtung der Bewegung, c) den zurückgelegten Weg, d) die Zeit, e) die Geschwindigkeit und f) die Größe der Bewegung.

30. Die Ursachen der Bewegung sind Kräfte. Kräfte sind aber in der Physik alle Arten von Anziehungen (Kohäsion, Adhäsion, Schwere, Elektrizität, Magnetismus ꝛc.), Stoß durch schon bewegte Körper (Wasser- und Windmühlen), Gewichte der Körper, Elastizität (Stahlfedern), Wärme, Expansion der Dämpfe (Dampfmaschinen), Muskelkraft der Thiere und Menschen. Die Kräfte wirken entweder momentan (augenblicklich), wie der Stoß, oder kontinuirlich (beständig, stetig), wie die Schwere. Die Kräfte können nur aus ihren Wirkungen beurtheilt werden. Das Maß derselben wird entweder durch Zahlen oder durch gerade Linien dargestellt, in der Art, daß das Zeichen für eine zwei, drei Mal ꝛc. so große Kraft auch eine zwei, drei Mal u. s. w. so große Zahl oder gerade Linie ist, wobei das Maß oder die Einheit ganz willkürlich ist.

31. Die Richtung der Kraft wird immer durch eine gerade Linie dargestellt. Sie ist diejenige gerade Linie, welche man sich von

einem bewegten Punkte nach demjenigen Orte, wohin er zu gehen angetrieben wird, gezogen denkt. Die Bewegung selbst heißt aber geradlinig oder krummlinig, je nachdem sie immer dieselbe Richtung behält oder in jedem Augenblicke eine andere annimmt. Die gerade Linie kann also bei der Bewegung Doppeltes auf ein Mal darstellen: 1) Die Richtung überhaupt, wobei sie unbegrenzt gedacht werden kann, 2) die Größe der Kraft oder die Stärke der Bewegung, wobei sie stets begrenzt sein muß.

32. Der zurückgelegte Weg, der durchlaufene Raum oder die Bahn eines bewegten Körpers ist die Linie, welche der Punkt durchläuft, in welchem man sich die Masse des Körpers concentrirt denkt. Wenn auch in der Mathematik unter Entfernung zweier Punkte immer die gerade Linie zwischen denselben verstanden wird, so ist doch hier in der Physik der zurückgelegte Weg eine gerade Linie nur bei der geradlinigen, eine krumme aber bei der krummlinigen Bewegung. Bei dieser letzteren wird die Richtung der Kraft in irgend einem Punkte der Bahn durch die Tangente desselben angegeben, während bei jener die gerade Linie, welche die Bahn vorstellt, auch zugleich die Richtung angiebt. Da ein bewegter Körper die verschiedenen Orte des zurückgelegten Weges nicht auf einmal, sondern nur nach und nach einnehmen kann, so erfordert auch jede Bewegung eine gewisse Zeit. Die Maaße des zurückgelegten Weges sind: Linien, Zolle, Fuße, Ruthen, Meilen, Erdhalbmesser, Meter (§ 13); die der Zeit dagegen: Sekunden, Minuten, Stunden, Monate, Jahre u. s. w.

33. Geschwindigkeit der Bewegung ist das Verhältniß des Raumes, den ein Körper durchläuft, zu der Zeit, die er dazu nöthig hat. Von zwei Körpern bewegt sich derjenige geschwinder oder schneller, welcher denselben Raum in kürzerer Zeit, oder welcher in derselben Zeit einen größeren Raum zurücklegt. Man bezieht in der Physik bei der Bestimmung der Geschwindigkeit die Räume auf eine Zeiteinheit, welche meist die Sekunde ist; so nennt man die Geschwindigkeit oder eigentlich das Maaß derselben: den in einer Sekunde zurückgelegten Raum. Weiß man daher, einen wie großen Raum ein bewegter Körper in einer gewissen Zeit durchlaufen hat, so hat man, um seine Geschwindigkeit zu finden, nur nöthig, den Zahlenausdruck des Raumes mit dem Zahlenausdrucke der Zeit, in Sekunden verwandelt, zu dividiren, und daher steht, wenn C die Geschwindigkeit, S den Raum und T die Zeit bedeutet, die Formel:

$$C = \frac{S}{T}, \text{ woraus folgt } S = CT \text{ und } T = \frac{S}{C}, \text{ d. h. — ?}$$

Welche Geschwindigkeit hat ein Körper, wenn er in 2 Minuten 960′ zurücklegt? (8′.) — Einen wie großen Raum legt ein Körper in 6 Minuten mit der Geschwindigkeit von 5′ zurück? (1800′.) — In welcher Zeit wird ein Körper einen Raum von 1260′ mit der Geschwindigkeit von 7′ zurücklegen? (3 M.)

Die Geschwindigkeit eines Fußgängers, der in 5 Stunden 3 Meilen zurücklegt, ist $^{72000}/_{18000}$ = 4′; eines Postwagens, der zu Einer Meile 50 Minuten

braucht, 8'; eines gewöhnlichen Windes 10', eines schnell segelnden Schiffes 14', eines Dampfwagens, der 6 Meilen in Einer Stunde zurücklegt, 40'; eines Sturmes 50', eines heftigen Orkans 80' bis 120', einer Kanonenkugel 600', des Schalles 1050', eines Punktes der Erde im Aequator 1431,5', einer Büchsenkugel 1500', einer 24pfündigen Kanonenkugel 2300'; der Erde auf ihrer Bahn 4 Meilen, des Lichtes 40,000 Meilen, die der Elektrizität wahrscheinlich über 60,000 Meilen.

Betrachtet man die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers für sich, wie jetzt geschehen, so heißt sie absolut; vergleicht man aber die Geschwindigkeiten mehrerer sich bewegender Körper unter einander, so nennt man sie relative Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeiten zweier bewegter Körper verhalten sich zu einander, wie die Räume, dividirt durch die Zeiten, oder:

$$C:c = \frac{S}{T}:\frac{s}{t},$$

und wenn $T = t$ ist, $C:c = S:s$ und wenn $S = s$ ist, $C:c = t:T$ } d. h. — ?

Auf ähnliche Weise folgen aus:

$S:s = CT:ct$ sowohl $S:s = C:c$ als auch $S:s = T:t$; und aus $T:t = \frac{S}{C}:\frac{s}{c}$ sowohl $T:t = S:s$ als auch $T:t = c:C$, d. h. — ?

Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten zweier Körper, von denen der eine 80' in 10 Sekunden, der andere 2400' in 1 M. zurücklegt? (1:5, d. h. —?) Wie verhalten sich ihre Geschwindigkeiten, wenn der eine 40', der andere 10' in derselben Zeit zurücklegt? (4:1), und wie, wenn der eine 20 Sekunden, der andere 2 M. über demselben Wege zubringt? (6:1).

In Bezug auf die Geschwindigkeit ist die Bewegung gleichförmig, wenn die Geschwindigkeit unverändert dieselbe bleibt, wenn der Körper in jeder Sekunde einen gleich großen Raum durchläuft; ungleichförmig, wenn sie beständig der Veränderung unterworfen ist. Die ungleichförmige Bewegung ist wieder beschleunigt (akzelerirt) oder verzögert (retardirt), je nachdem die Geschwindigkeit immerfort zu- oder abnimmt, und jede von ihnen wiederum gleich- oder ungleichmäßig beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Beschleunigung zu- oder abnimmt, wie die Zeit, d. h. so, daß sie in einer zwei, drei Mal u. s. w. so großen Zeit auch zwei, drei Mal u. s. w. so groß oder so klein ist, oder in einem anderen Verhältnisse.

Bei der ungleichförmigen Bewegung kann man nur die Geschwindigkeit eines bestimmten Augenblickes angeben, wie z. B. beim freien Falle der Körper (§ 69) am Ende der 3., 4. Sekunde. Eine gleichförmige Bewegung in der Natur ist die Achsenbewegung der Erde; Maschinen können sich nur annähernd gleichförmig bewegen; gleichmäßig beschleunigte Bewegungen sind der freie Fall der Körper und der Fall der Körper auf der schiefen Ebene; gleichmäßig verzögerte die Bewegungen: senkrecht in die Höhe und auf einer schiefen Ebene hinauf geworfener Körper; ungleichmäßig beschleunigte und verzögerte Bewegungen sind die Pendelschwingungen.

34. Größe oder Quantität der Bewegung (Kraftmoment, Bewegungsmoment) bezeichnet die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper auf einen anderen, indem er ihn trifft, wirkt. Es ist von selbst einleuchtend, daß die Größe der Bewegung sowohl mit der Masse, als

auch mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers gleichmäßig zu- und abnimmt; man sagt daher: die Größe der Bewegung steht im geraden Verhältnisse der Masse und der Geschwindigkeit.

Die Größen der Bewegung zweier Körper verhalten sich also zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten, oder:

$$Q : q = MC : mc.$$

Wenn ein Mal $M = m$, das andere Mal $C = c$ gesetzt wird, erhält man:

$$Q : q = C : c \text{ und } Q : q = M : m, \text{ d. h. } —?$$

Setzt man $Q = q$ in die Proportion $Q : q = MC : mc$, so muß auch $MC = mc$ sein, woraus folgt:

$$\text{entweder } M = m \text{ und } C = c$$
$$\text{oder } M : m = c : C,$$

d. h. zwei Körper haben nicht nur bei gleichen Massen und gleichen Geschwindigkeiten gleiche Größen der Bewegung, sondern auch dann, wenn sich ihre Massen zu einander verhalten, wie umgekehrt ihre Geschwindigkeiten. Die Wirkung, welche ein bewegter Körper ausübt, muß offenbar im geraden Verhältnisse zu seiner Größe der Bewegung stehen; es verhalten sich mithin auch die Wirkungen bewegter Körper zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten.

Eiserne Kugeln von 20, 30, 60 Pfund werden, wenn sie sich in derselben Ordnung mit der Geschwindigkeit von 3, 2 und 1 Fuß bewegen, gleich stark wirken wegen $3 . 20 = 2 . 30 = 1 . 60$. Der Stoß eines schweren Körpers kann daher selbst bei unbedeutender Geschwindigkeit, so wie der Stoß eines zwar leichten Körpers bei bedeutender Geschwindigkeit sehr große Wirkungen hervorbringen.

35. Die relativen Geschwindigkeiten lassen sich nicht nur aus dem Raume und der Zeit (33), sondern auch aus der Masse und den bewegenden Kräften bestimmen. Die Geschwindigkeit überhaupt steht im geraden Verhältnisse zur Kraft und im umgekehrten Verhältnisse zur Masse; die relativen Geschwindigkeiten verhalten sich daher zu einander, wie die Kräfte, dividirt durch die Massen, oder:

$$C : c = \frac{V}{M} : \frac{v}{m}$$

und wenn ein Mal $M = m$, das andere Mal $V = v$ gesetzt wird:

$$C : c = V : v \text{ und } C : c = m : M, \text{ d. h. } —?$$

36. So wie die Bewegung der Richtung nach gerade- oder krummlinig, der Geschwindigkeit nach gleich- oder ungleichförmig mit den verschiedensten Abstufungen ist, so ist sie hinsichtlich der sie hervorbringenden Kräfte einfach oder zusammengesetzt, je nachdem der Körper durch eine oder durch mehrere Kräfte in Bewegung gesetzt worden ist. Heben sich die Wirkungen mehrerer Kräfte so auf, daß keine Bewegung entsteht, so sagt man: die Kräfte setzen einander ins Gleichgewicht, oder: die Kräfte sind im Gleichgewichte.

Wirken zwei Kräfte auf einen Körper, so fallen ihre Richtungen entweder in eine einzige gerade Linie, wobei sie nach derselben oder nach entgegengesetzten Seiten hin wirken können, oder sie schließen einen Winkel ein. Die Wirkungen mehrer Kräfte lassen sich immer auf eine Kraft zurückführen.

37. Wirken zwei Kräfte in einer geraden Linie und zwar: a) nach derselben Richtung hin, so geht der Körper in der gemeinschaftlichen Richtung der Kräfte vorwärts und zwar mit einer ihrer Summe proportionalen Geschwindigkeit; b) nach entgegengesetzten Richtungen, so setzen sie sich, wenn die Kräfte gleich sind, ins Gleichgewicht; erzeugen aber eine Bewegung, wenn sie ungleich sind, in der Richtung der größeren Kraft, von einer der Differenz der Kräfte proportionalen Geschwindigkeit.

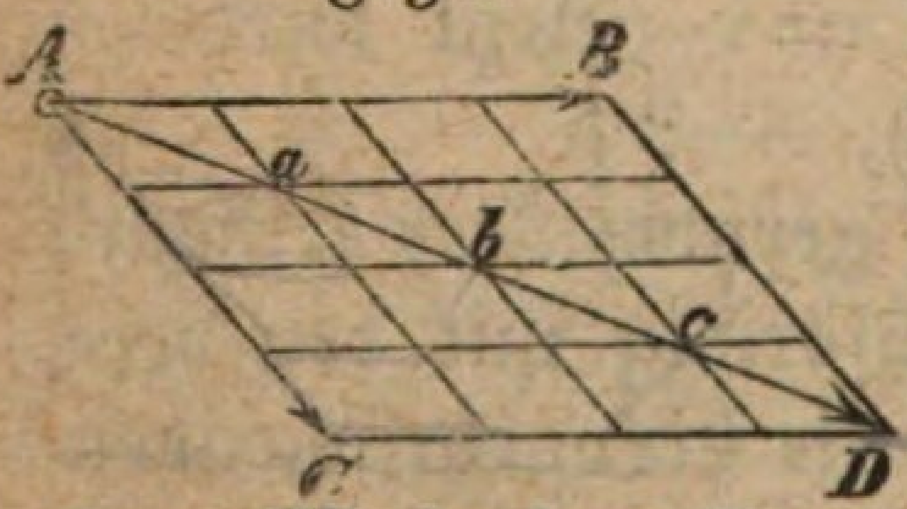
Wenn eine Kraft einem Körper für sich allein eine Geschwindigkeit von 3′, eine andere für sich allein eine Geschwindigkeit von 5′ mittheilen würde, mit welcher Geschwindigkeit und in welcher Richtung bewegt sich der Körper, wenn beide auf einmal auf ihn wirken, 1) im Falle a? 2) im Falle b?

Immer bleibt hier die Wirkung so, als gäbe es nur Eine Kraft, selbst wenn statt zweier Kräfte mehrere gedacht werden; deshalb wird dieser Fall noch nicht zur zusammengesetzten Bewegung gerechnet, sondern darunter vorzugsweise nur derjenige verstanden, wo die Richtungen der Kräfte Winkel bilden.

38. Wenn zwei Kräfte unter einem Winkel auf einen Körper gleichzeitig wirken, so fragt sich auch hier: 1) in welcher Richtung, 2) mit welcher Stärke oder Geschwindigkeit geht der Körper vorwärts? Da er durch beide Kräfte in seiner Bewegung bestimmt werden muß, so kann er weder in der Richtung der einen noch der anderen, so wie weder mit der Geschwindigkeit der einen noch der anderen fortgehen. Man findet aber Beides, indem man sowohl die Richtungen, als auch die Stärke der Kräfte durch gerade Linien darstellt, nach geometrischen Gründen aus diesen zwei Linien und dem von ihnen eingeschlossenen Winkel ein Parallelogramm verzeichnet, und die Diagonale aus dem Wirkungspunkte der Kräfte zieht. Diese Diagonale giebt sowohl die Richtung, als auch die Geschwindigkeit an, in und mit welcher der Körper fortgeht.

Dieses Gesetz läßt sich so verdeutlichen: Die gleichzeitige Einwirkung

Figur 1.



zweier Kräfte auf den Körper in Figur 1, welcher der einen Kraft folgend, von A bis B, und der andern folgend, in gleicher Zeit von A bis C kommen würde, muß denselben Erfolg haben, wie wenn er sich auf der Linie AB vom Anfange A bis zum Ende B bewegte, gleichzeitig aber die Linie AB selbst, sich parallel bleibend, so fortrückte, daß sie, indem A in der AC bleibt, in die Lage CD in dem Augenblicke gelangte, in welchem der Körper auf der sich bewegenden Linie AB den Punkt B erreicht. Es hat dann der Körper den Weg AD zurückgelegt in der Zeit, in welcher er durch die eine Kraft allein auf der AB von A bis B, durch die andere allein auf der AC von A bis C gekommen wäre, so wie er sich nach Verlauf des vierten Theiles der Zeit in a, der Hälfte in b ꝛc. befunden hat, wenn AB und AC in vier gleiche Theile getheilt gedacht

werden. Man kann auch von der Vorstellung ausgehen, der Körper bewege sich auf der AC und diese rücke in der angegebenen Art nach BD weiter. Der Erfolg der gleichzeitigen Wirkung der beiden Kräfte in einer bestimmten Zeiteinheit ist also genau derselbe, wie wenn der Körper zuerst nur der Einwirkung der einen Kraft in dieser Zeiteinheit folgte (z. B. von A nach B. gelangte), in der darauf folgenden Zeiteinheit dagegen nur wieder der anderen (also von B nach D gelangte). Wohin also die beiden Kräfte, nach einander wirkend, den Körper auf den Wegen AB und BD bringen, dahin bringen sie ihn auch, gleichzeitig wirkend, in der Hälfte der Zeit auf dem kürzeren Wege AD, nämlich nach D.

Man nennt diese Konstruktion in der Physik das Parallelogramm der Kräfte. Die ursprünglichen zwei Kräfte, deren Richtungen benachbarte Seiten des Parallelogramms bilden, heißen Seitenkräfte, auch zusammenwirkende oder zusammensetzende Kräfte, so wie die durch ihre Zusammensetzung entstandene, deren Richtung die Diagonale angiebt, die Mittelkraft, zusammengesetzte oder resultirende Kraft.

Der Erfolg ist genau derselbe, ob die Mittelkraft allein in ihrer Richtung oder die Seitenkräfte zusammen in den ihrigen auf einen Körper wirken. Genau in der Mitte zwischen den Richtungen der Seitenkräfte geht der Körper nur dann, wenn diese einander gleich sind. Bilden die Richtungen der Seitenkräfte einen rechten Winkel, so kann man mit Hilfe des pythagoreischen Lehrsatzes aus der Größe der Seitenkräfte die der Mittelkraft durch Rechnung finden; wären jene 3 und 4, so ist diese $= \sqrt{(3^2 + 4^2)} = \sqrt{25} = 5$; ist jener Winkel ein schiefer, z. B. $= x$, und die einschließenden Seiten a und b, so ist nach trigonometrischen Gründen die Mittelkraft $= \sqrt{[a^2 + b^2 - 2\,a\,b \cos(180^0 - x)]} = \sqrt{(a^2 + b^2 + 2\,a\,b \cos x)}$, also bei $a = 3, b = 4, x = 60^0$, $= \sqrt{(3^2 + 4^2 + 2.3.4.\,{}^1\!/_2)} = \sqrt{37} = 6{,}08\ldots$ Die Mittelkraft ist immer kleiner, als die Summe der beiden Seitenkräfte, und zwar desto kleiner, unter einem je größeren Winkel die letzteren wirken. — Eberhard's Diagonalmaschine.

39. Das Parallelogramm der Kräfte wird auf zwei von einander verschiedene Arten gebraucht: 1) zur Zusammensetzung der Kräfte, wenn eine Kraft ihrer Richtung und Größe nach gefunden werden soll, die allein so viel wirkt, als zwei oder mehrere ebenfalls ihrer Richtung und Größe nach gegebene Kräfte, 2) zur Zerlegung der Kräfte, wenn zwei oder mehrere Kräfte ihrer Richtung und Größe nach gefunden werden sollen, die genau dieselbe Wirkung hervorbringen, als eine ebenfalls ihrer Richtung und Größe nach gegebene Kraft.

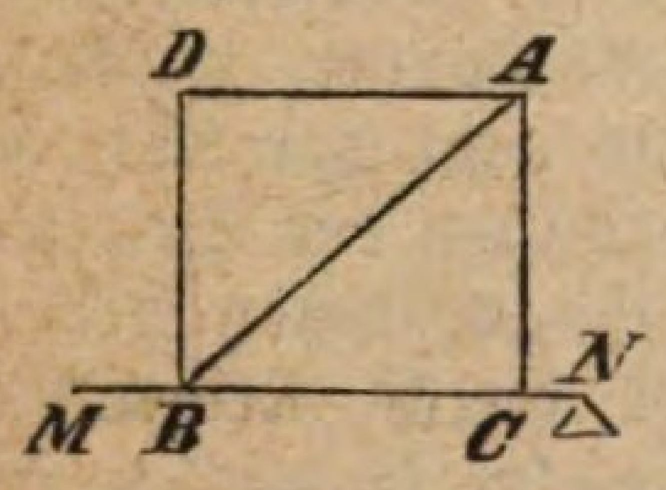
Wie setzt man durch wiederholte Konstruktion des Parallelogramms drei, vier und mehrere Kräfte in eine zusammen? Zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte können einander nie ins Gleichgewicht setzen, wohl aber drei, wenn die Mittelkraft aus zweien gleich ist und entgegengesetzt wirkt der dritten; vier, wenn die Mittelkraft aus dreien der vierten, oder auch die Mittelkraft des einen Paares der Mittelkraft des anderen Paares gleich und entgegengesetzt wirkend ist u. s. w. Die Zerlegung einer Kraft in zwei wird bewirkt, wenn man aus einem Endpunkte der die Mittelkraft darstellenden Linie zwei Linien auf den entgegengesetzten Seiten derselben zieht, doch so, daß der von ihnen gebildete Winkel kleiner als 180° ist, und nun aus dem anderen Endpunkte zu jenen Linien Parallellinien legt, und zwar so, daß die auf der einen Seite der Mittelkraft immer parallel ist zu der auf der anderen. Durch Wiederholung dieses Verfahrens läßt sich eine Kraft leicht in drei, vier und mehrere Kräfte zerlegen.

Beispiele von zusammengesetzter Bewegung sind: Ein Kahn auf einem Flusse, von zwei oder mehreren an den entgegengesetzten Ufern gehenden

Menschen mittelst Stricken gezogen; wobei, wenn mehrere Menschen an besonderen Nebenseilen desselben Hauptseiles ziehen, die Nebenseile mit dem Hauptseile möglichst kleine Winkel bilden müssen, um die möglichst größte Mittelkraft zu erhalten. Ein quer über einen Fluß segelnder Kahn; ein Ball, mit dem man auf einem segelnden Kahne spielt; ein vom Mastbaume eines segelnden Schiffes herabfallender Ball; jeder geworfene Körper; viele Künste der Seiltänzer und spanischen Reiter; der Gebrauch der Flossen bei den Fischen; der Flügel bei den Vögeln, der Hände und Füße beim schwimmenden Menschen; der schief herabfallende Regen; auf die bei windigem Wetter abgeschossene Kugel wirken drei Kräfte, welche? Die zusammengesetzte Bewegung kann auch krummlinig sein, wie die Abschnitte über Wurf- und Zentralbewegung zeigen.

40. Nur eine auf eine Ebene senkrecht wirkende Kraft wirkt mit ihrer ganzen Stärke zur Fortbewegung der Ebene, jede schief wirkende nur mit einem Theile; was sich durch Zerlegung derselben in zwei Seitenkräfte, von denen die eine auf die Ebene senkrecht ist, die andere dagegen in sie hineinfällt, zeigen läßt. Jene wirkt ganz, diese geht für den bestimmten Zweck verloren. Sollte z. B. in Figur 2 ein Stab MN um den festen Punkt N von oben herab bewegt werden durch eine Kraft, deren Richtung und Größe die schiefe Linie AB angiebt, so fälle man von A auf MN den Perpendikel AC, errichte in B den Perpendikel DB und ziehe AD $\#$ BC, so ist AB zerlegt in AD und AC, welche wir uns im Punkte B wirkend denken, und zwar AC = DB senkrecht herab, AD = CB längs MB von B nach M; nur die erste bewirkt die bezweckte Bewegung; aber die Kathete AC $<$ ihre Hypotenuse AB, der Verlust beträgt also AB—AC.

Figur 2.



Die Figur zeigt, daß es bei dieser Zerlegung nicht nöthig ist, das Parallelogramm zu zeichnen, sondern daß die Ziehung des Perpendikels AC hinlänglich ist, da BC = AD ist; AC giebt die senkrecht, BC hier die horizontal wirkende Kraft an. — Wäre die schief wirkende Kraft = 6 Pfd., so theile man die beliebig große AB in 6 gleiche Theile, ziehe AC und sehe mit dem Zirkel nach, wie viel sie solcher Theile enthält; die erhaltene Zahl giebt die Anzahl Pfunde an, mit denen jene längs AB schief wirkende Kraft in B senkrecht herabdrückt. — Wäre außer der schief wirkenden Kraft auch der Winkel ABC, unter dem sie wirkt, gegeben, so wäre AC = AB sin ABC und BC = AB cos ABC, also bei AB = 6 Pfund und ABC = 30°, $AC = 6 \cdot {}^1/_2 = 3$ Pfund und $BC = 6 \sqrt{{}^3/_4} = 3 \sqrt{3} = 3 \cdot 1{,}73 \ldots = 5{,}19 \ldots$, auch ist $3^2 + (3 \sqrt{3})^2 = 6^2$.

Eben so leicht ist einzusehen, daß, wenn eine Last von M nach N durch BA gezogen werden sollte, diese nicht stärker wirken würde, als die horizontale BC, mithin BA — BC verloren ginge.

Auf Gebirgswegen spannt man die Pferde kurz, damit nicht der Wagen noch auf der Ebene ist, während die Pferde schon auf der Anhöhe sind. Wirkung des Steuerruders und der Segel.

41. Zu den Hindernissen der Bewegung rechnet man in der Physik vorzugsweise die Reibung, den Widerstand des Mittels und die Unbiegsamkeit oder Steifigkeit der Stricke. Vorzüglich wichtig sind die beiden ersten, weil sie bei jeder Bewegung entweder einzeln oder gemeinschaftlich derselben hindernd in den Weg treten.

Die **Reibung** (Friktion) ist besonders die Folge der bei jeder noch so glatten Fläche stattfindenden Erhabenheiten und Vertiefungen. Wird nämlich ein Körper über einen anderen fortbewegt, so füllen gleichsam die Erhabenheiten des einen die Vertiefungen des anderen aus, wodurch, indem jene aus diesen hervorgehoben werden müssen, die Bewegung langsamer werden muß, und endlich sogar aufhören kann. Die Reibung ist ein desto größeres Hinderniß der Bewegung, je unebener die Körper sind und in je mehr Punkten sie sich berühren; man vermindert daher ihre Gegenwirkung 1) durch Glätten oder Poliren der Körper, 2) durch Ausfüllen der Vertiefungen mit Oel, Fett, Wasser u. s. w. und 3) durch Verwandlung der schleifenden oder gleitenden Bewegung in eine rollende oder wälzende, wodurch die Berührung in wenigeren Punkten stattfindet. Auch ist, wie leicht begreiflich, bei der Reibung die Adhäsion von Einfluß. Oft ist uns die Reibung auch sehr nützlich, und wir vermehren sie deshalb absichtlich, besonders bei ruhenden Körpern.

Bei Eisenbahnen giebt es weniger Reibung, als auf dem natürlichen Wege; bei den Dampfwagen auf Eisenbahnen läßt sich die Reibung auf $^1/_{400}$ der Last vermindern, während sie auf den Chausseen bei trockener Witterung $^1/_{20}$, bei nasser $^1/_{10}$ der Last beträgt; die Wagenräder werden mit Pech, Fett, so wie die Zapfenlöcher bei den Maschinen mit Oel u. s. w. eingeschmiert. — Große Lasten bewegt man auf Walzen oder Kugeln. Ein Zentner Eisen als Kubus, Zylinder und Kugel gedacht, berührt in derselben Ordnung eine Ebene in einer Fläche, einer Linie und einem Punkte, erfordert daher in diesen verschiedenen Formen auch verschieden große Kräfte zur Fortbewegung. — Der Nutzen der Räder an den Wagen. — An den Wagenrädern findet wälzende und gleitende Reibung statt, jene an den Peripherien, diese an den Achsen. — Schlittschuhlaufen, Eisfahrten. — Durch die Hemmschuhe der Fuhrleute im Gebirge wird die rollende oder wälzende Bewegung in eine gleitende oder schleifende verwandelt. Der Violinbogen wird mit Kolophonium bestrichen; glatte Stellen im Winter, die Eisenbahnschienen bei Glatteis, werden mit Sand oder Asche bestreut, die Seiltänzer kreiden vor dem Tanzen die Schuhsohlen ein; ohne Reibung könnten wir nicht gehen, nichts halten, weder mit der Hand, noch mit einer Zange, auch nicht einmal fest stehen, so wie ohne Reibung kein Paket mit Stricken festgebunden werden könnte, alle Gegenstände auf der Straße durch den Wind fortbewegt und die Steine von den Abhängen der Berge leicht heruntergerollt würden.

Die Luft und das Wasser werden einem in ihnen sich bewegenden Körper dadurch ein Hinderniß der Bewegung, daß sie von ihm immer erst auf die Seite geschoben werden müssen, ehe er vorwärts kommen kann, und dadurch seine Geschwindigkeit mindern. Dieses Hinderniß der Bewegung, ausgeübt von einem flüssigen oder luftförmigen Körper auf den in ihm sich bewegenden Körper, heißt der **Widerstand des Mittels**. Er ist desto größer 1) je dichter das Mittel ist, 2) je schneller sich der Körper bewegt und 3) je größer die das Mittel zertheilende Fläche ist. Auch der Widerstand des Mittels ist uns oft nützlich, weshalb nicht selten besondere Vorrichtungen zu seiner Vergrößerung getroffen werden.

Es ist schwerer, im Wasser als in der Luft zu gehen, und die Körper fallen im Wasser langsamer, als in der Luft; beim schnellen Laufen fühlen

wir den Widerstand der Luft, und beim Fahren auf den Eisenbahnen ist er sehr merklich, während er beim langsamen Gehen kaum fühlbar ist; die Schiffe laufen an dem Ende, das vorwärts geht, spitz zu, so wie die Linse bei dem Perpendikel der Wanduhren am Rande zugeschärft ist. — Der in der Atmosphäre fallende Körper fällt langsamer und erreicht deshalb später die Erde, als er sie im luftleeren Raume erreichen würde; auch schlägt er weniger stark auf. (Wasserhammer.) Der Nutzen des Widerstandes zeigt sich beim Schwimmen, beim Rudern, beim Fliegen der Vögel, beim Fallschirme u. s. w.

Die Steifigkeit der Stricke ist überall, wo Rollen vorkommen, ein Hinderniß der Bewegung. —

42. Da durch die Einwirkung der Kräfte auf einen Körper entweder Gleichgewicht oder Bewegung entsteht, so zerfallen die Betrachtungen der Körper, insofern Kräfte auf sie einwirken, in zwei Abschnitte, in die Statik (Gleichgewichtslehre), die es mit dem Gleichgewichte, und in die Dynamik (Bewegungslehre), die es mit der Bewegung der Körper zu thun hat. Statik und Dynamik bilden die Mechanik. Je nachdem wieder blos feste, flüssige oder luftförmige Körper betrachtet werden, giebt es 1) eine Statik im engeren Sinne, als die Lehre vom Gleichgewichte fester Körper, 2) eine Hydrostatik, als die Lehre vom Gleichgewichte flüssiger Körper, 3) eine Aerostatik, als die Lehre vom Gleichgewichte luftförmiger Körper, 4) eine Dynamik oder Mechanik im engeren Sinne, als die Lehre von der Bewegung fester Körper; 5) eine Hydrodynamik oder Hydraulik, als die Lehre von der Bewegung flüssiger Körper, 6) eine Aerodynamik oder Pneumatik, als die Lehre von der Bewegung luftförmiger Körper, welche sechs Abschnitte hier, wie es in einem Lehrbuche der Statik und Dynamik sein müßte, nicht aufs Strengste geschieden vorkommen.

Dritter Abschnitt.

Von den festen Körpern.

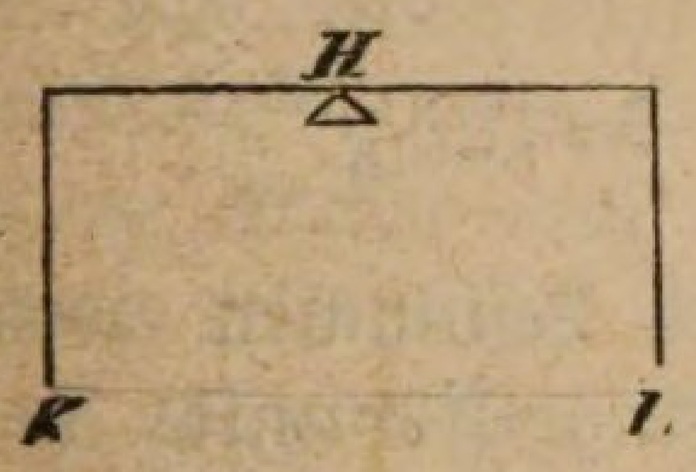
1. Von dem Hebel.

43. Jeder beliebige, unbiegsame Stab, oder jeder feste Körper überhaupt, in irgend einem Punkte unterstützt, auf welchen in beliebigen Angriffspunkten Kräfte wirken, die ihn um den Unterstützungspunkt nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen das Bestreben haben, heißt ein physischer oder zusammengesetzter Hebel. Denkt man sich aber statt des Körpers eine unbiegsame, schwerlose Linie, so hat man den mathematischen oder einfachen Hebel, von dem vorzugsweise die nächsten Paragraphen handeln.

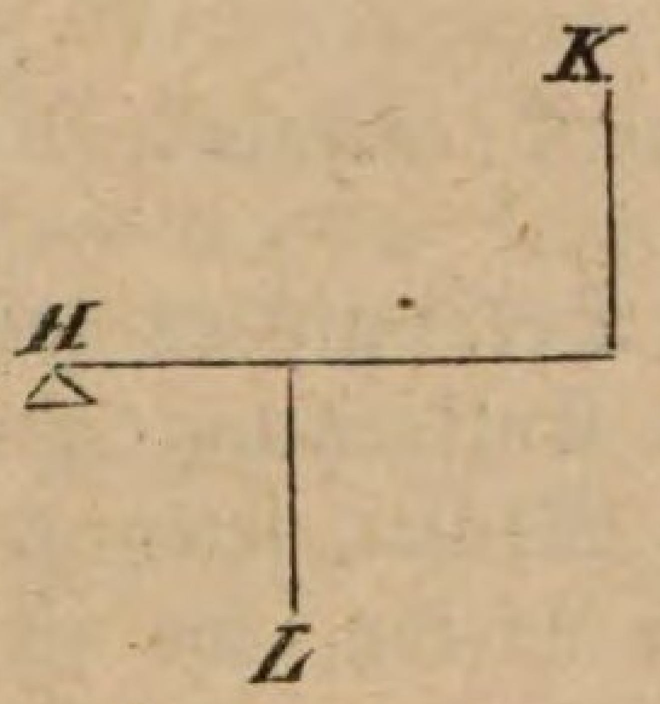
44. Die beiden Kräfte am Hebel werden von einander unterschieden durch die Ausdrücke Kraft und Last oder Widerstand. Bei jedem Hebel giebt es drei merkwürdige Punkte: den Unterstützungs- oder Drehpunkt (Hypomochlium) und die Angriffspunkte der Kraft und der Last.

45. Die Lage dieser drei Punkte bestimmt es, ob der Hebel ein einarmiger oder zweiarmiger heißt; bei jenem (Fig. 4 und 5) liegen die beiden Angriffspunkte auf derselben Seite, bei diesem (Fig. 3) auf entgegengesetzten Seiten des Drehpunktes. Da aber beim einarmigen Hebel die Last näher oder entfernter als die Kraft vom Drehpunkte wirken kann, so ist er in dieser Beziehung doppelter Art, und wir unterscheiden daher auch Hebel erster, zweiter und dritter Art, je nachdem sich der Drehpunkt zwischen den beiden Angriffspunkten, oder der Angriffspunkt der Last zwischen dem Drehpunkte und dem Angriffspunkte der Kraft, oder endlich der Angriffspunkt der Kraft zwischen dem der Last und dem Drehpunkte befindet, wie das die Figuren 3, 4 und 5 verdeutlichen.

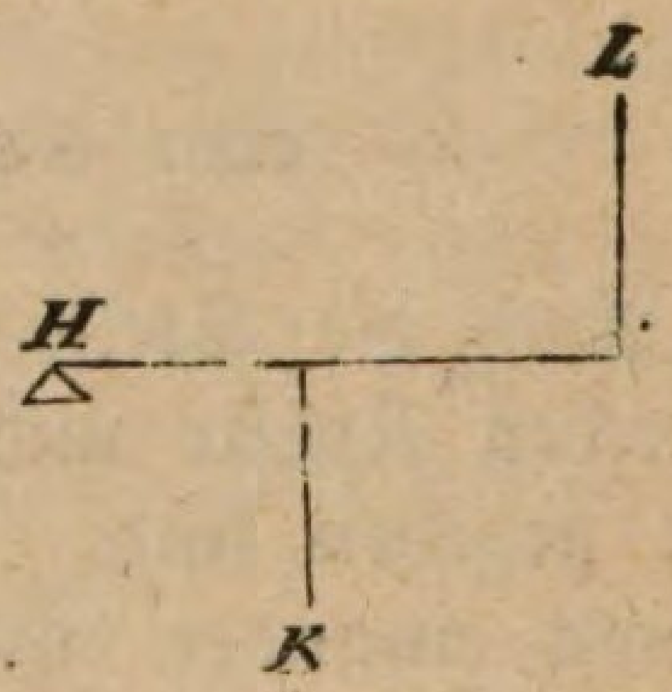
Figur 3.



Figur 4.



Figur 5.



Bei einem zweiarmigen Hebel wirken Kraft und Last nach derselben, bei einem einarmigen dagegen immer nach entgegengesetzten Seiten hin, denn nur auf diese Art kann in den Armen das Bestreben, eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung anzunehmen, entstehen. Im entgegengesetzten Falle würden Kraft und Last sich nur wechselseitig unterstützen, statt gegen einander zu wirken.

Die Arme eines Hebels können eine gerade oder eine krumme Linie oder auch einen Winkel bilden, in welchem letzteren Falle der Unterstützungspunkt im Scheitel des Winkels liegt; daher unterscheidet man geradlinige, krummlinige oder gebogene Hebel und Winkelhebel; die Kräfte können dabei bei dem geradlinigen und Winkelhebel senkrecht oder schief auf die Hebelsarme wirken.

Jede Kraft am Hebel hat ihren eigenen Hebelsarm, worunter man immer den Theil des Hebels zwischen dem Drehpunkte und ihrem Angriffspunkte versteht; deshalb hat der sogenannte einarmige Hebel eben so gut zwei Hebelsarme, als der zweiarmige, und wird nur deshalb einarmig genannt, weil sie auf derselben Seite des Drehpunktes liegen und der kürzere einen Theil des längeren ausmacht.

46. Bei allen Arten von Hebeln gilt ohne Unterschied das Gleichgewichtsgesetz: Der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn sich Kraft und Last zu einander verhalten, wie umgekehrt ihre

Entfernungen vom Unterstützungspunkte, oder was dasselbe ist, indem es aus dieser geometrischen Proportion folgt: der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die statischen Momente (die Produkte aus den Kräften und ihren Entfernungen vom Unterstützungspunkte) einander gleich sind; in einer Formel also:

$$\left.\begin{array}{c} K:L = El:Ek \\ \text{oder} \\ L:K = Ek:El \end{array}\right\} \text{oder } K.Ek = L.El,$$

wo K, L, El, Ek in derselben Ordnung, Kraft, Last, Entfernung der Last, Entfernung der Kraft bedeuten. Wenn von den vier Größen beim Hebel, den beiden Kräften und den beiden Entfernungen, drei beliebige gegeben sind, so läßt sich nach diesem Gesetze die vierte immer leicht finden; wirkt z. B. eine Kraft von 9 Pfund in der Entfernung von 7 Fuß, in welcher Entfernung (x) vom Drehpunkte muß die Kraft von 5 Pfund angebracht werden, um Gleichgewicht hervorzubringen? Man setzt:

$$\text{entweder } 5:9 = 7:x; \text{ also } x = \frac{9\,.\,7}{5} = 12^3/_5{}'$$

$$\text{oder } 5x = 9.7; \text{ also } x = \frac{9\,.\,7}{5} = 12^3/_5{}'$$

Auch die Stelle des Drehpunktes läßt sich bestimmen, wenn nur die beiden Kräfte und die Entfernung ihrer Angriffspunkte von einander gegeben sind. Die Kräfte seien 6 und 9 Pfd. und sie sollen 20′ von einander entfernt wirken, wo ist der Drehpunkt anzubringen 1) beim zweiarmigen, 2) beim einarmigen Hebel? Heißt die zu 6 Pfund gehörige Entfernung x, so wird die zu 9 Pfund gehörige im ersten Falle (20—x), im zweiten aber (x—20) heißen, und es steht:

zu 1) $6x = 9\,(20 - x)$, woraus folgt $x = 12'$
und $20 - x = 8'$

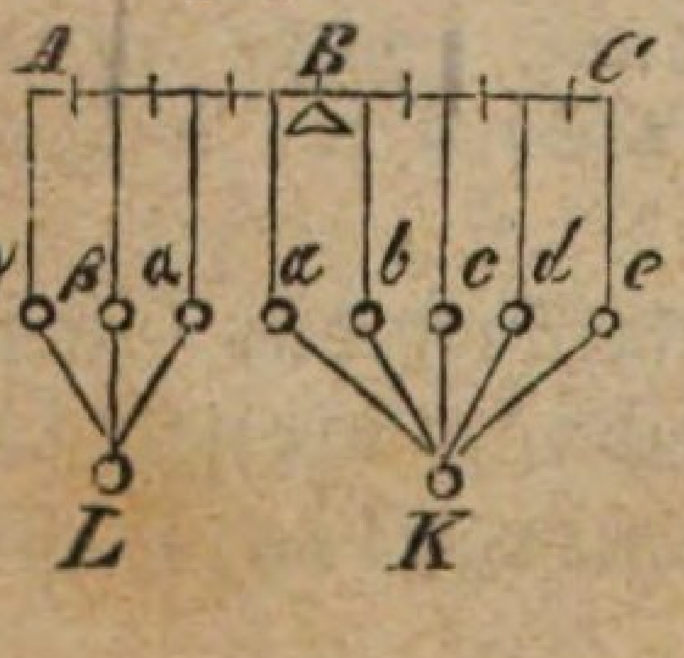
zu 2) $6x = 9\,(x - 20)$, woraus folgt $x = 60'$
und $x - 20 = 40'$

Oder auch so: Heißt die zu 9 Pfd. gehörige Entfernung y, so wird die zu 6 Pfd. gehörige im ersten Falle (20—y), im zweiten aber (20 + y) heißen, und es steht:

zu 1) $9y = 6\,(20 - y)$, woraus folgt $y = 8'$
und $20 - y = 12'$

zu 2) $9y = 6\,(20 + y)$, woraus folgt $y = 40'$
und $20 + y = 60'$

Figur 6.



Die Entfernung einer Kraft vom Drehpunkte ist der Perpendikel vom Drehpunkte auf die Richtungslinie dieser Kraft. — Wirken die Kräfte auf die Hebelsarme senkrecht, so stellen diese selbst die Entfernungen dar, sonst aber sind die Hebelsarme größer, als die Entfernungen der Kräfte. — Das Grundgesetz des Hebels läßt sich so verdeutlichen: Ist in Figur 6 AB = BC und sind in A und C gleiche Kräfte senkrecht wirkend angebracht, so ist gewiß

Gleichgewicht vorhanden, da die gleichen Kräfte den Hebel gleich stark nach entgegengesetzten Seiten zu drehen suchen, der Hebel also keiner folgen kann. Es ist daher auch Gleichgewicht vorhanden, wenn die gleichen Hebelsarme in gleich viele gleiche Theile getheilt werden, hier in sieben, und in gleichen Entfernungen gleiche Gewichte α, β, γ, a, b, c, d, e, aufgehangen werden, da ja a und b, eben so γ und e ꝛc. sich das Gleichgewicht halten; werden nun α, β, γ in L, so wie a, b, c, d und e in K vereinigt, so giebt es keinen Grund, warum das Gleichgewicht aufhören sollte; L aber = 3 Lasten hat zur Entfernung 5 und K = 5 Lasten zur Entfernung 3, d. h. die Kräfte verhalten sich zu einander, wie umgekehrt ihre Entfernungen vom Drehpunkte. — Archimedes (250 v. Chr.) stellt das Grundgesetz für den Hebel auf.

47. Geschieht diesem Grundgesetze kein Genüge, so findet eine Bewegung statt. Die Last steigt oder fällt, je nachdem die Kraft größer oder kleiner ist, als sie das Gleichgewichtsgesetz erfordert. Bei dieser Bewegung beschreiben die Angriffspunkte der Kräfte Kreislinien um den Drehpunkt, und je nachdem die Hebelsarme, als die Radien dieser Kreislinien, gleich oder ungleich sind, werden die Angriffspunkte sich mit gleicher oder ungleicher Geschwindigkeit bewegen. Ihre Geschwindigkeiten stehen im geraden Verhältnisse der Hebelsarme. Gl, Gk sollen die Geschwindigkeiten der Last und der Kraft bedeuten.

48. Die Anwendung des Gleichgewichtsgesetzes auf die Hauptarten des geradlinigen Hebels ergiebt folgende Resultate. Wir denken uns zunächst die Kräfte auf die Hebelsarme senkrecht wirkend, mithin die Hebelsarme selbst als die Entfernungen der Kräfte vom Drehpunkte.

1. Hebel erster Art. Dieser Hebel ist gleich- oder ungleicharmig. Bei dem gleicharmigen geht die Proportion:

K:L = El:Ek über in:

K:L = El:El oder = Ek:Ek, und, da mit einem Verhältnisse der Gleichheit nur wiederum ein solches eine Proportion bilden kann, so ist:

K = L, d. h. beim gleicharmigen Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, sobald Kraft und Last einander gleich sind. Die Last kann also nur durch eine Kraft, die größer als sie ist, gehoben werden. Da aber hier Kraft und Last in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegen, so haben sie gleiche Geschwindigkeiten oder Gk = Gl.

Wenn das Gleichgewicht eine Kraft verlangt, die kleiner ist als die Last, welche immer als das zu Ueberwältigende betrachtet wird, so sagt man, daß ein mechanischer Vortheil vorhanden ist; wenn aber bei stattfindender Bewegung die Kraft einen größeren Weg zurücklegen muß, d. h. sich schneller bewegen muß, als die Last, so nennt man das einen mechanischen Nachtheil. Es ist ein allgemeines Gesetz, daß beide unzertrennlich sind; je größer der mechanische Vortheil, der Gewinn an Kraft, desto größer ist auch der mechanische Nachtheil, die Vermehrung der Geschwindigkeit der Kraft, oder überhaupt Verlust an Zeit, weil bei der langsameren Bewegung der Last mehr Zeit nöthig ist, sie bis zu einer bestimmten Höhe zu heben.

Man sagt auch: Soviel an Kraft gewonnen wird, eben soviel geht an Geschwindigkeit verloren.

Wenn die Hebelarme 3' und 7' lang sind, so beschreiben Last und Kraft bei der Umdrehung um H Bogen, welche sich wie ihre Halbmesser 5:7 verhalten (§ 46). Um die Last von $12^3/_5$ Pfd. 5' zu heben, muß die Kraft von 9 Pfd. 7' durchlaufen.

Wirkt beim **ungleicharmigen** Hebel die Kraft an dem größeren Hebelsarme, d. h. ist $Ek > El$, so ist in der Proportion $K:L = El:Ek$ das Verhältniß $El:Ek$ ein steigendes und also auch $K:L$ ein steigendes Verhältniß, d. h. $K < L$, und setzt man $Ek = nEl$, so erhält man:

$$K:L = El:nEl \text{ oder } K:L = 1:n$$

$$\text{also } K = \frac{L}{n},$$

d. h. **wird die Kraft bei einem ungleicharmigen Hebel an dem längeren Arme angebracht, so darf sie beim Gleichgewichte nur der sovielte Theil der Last sein, als oft ihr Arm an Länge den der Last übertrifft.**

Es ist aber auch:

$$Gk = n . Gl.$$

Wird die Kraft an dem kürzeren Arme angebracht, also $Ek < El$ angenommen, so ist auch das Resultat umgekehrt — wir ersparen also durch den ungleicharmigen Hebel nur dann an Kraft, wenn diese am längeren Arme wirkt.

Wie bestimmt man bei einem Hebel erster Art von gegebener Länge den Drehpunkt, wenn man 2, 3, 4 Pfd. u. s. w. mit 1 Pfd. ins Gleichgewicht setzen will? —

Gewöhnliche Kaufmannswaage (§ 51) — Hydrostatische Waage — Schnellwaage oder römische Waage, Scheeren, Zangen, Klappen an Blase-Instrumenten, Klaves beim Flügel, Steuerruder, Schaukelbreter; Stangen, mit denen man nach Herstellung einer Unterstützung, z. B. mittelst eines Steines, Lasten hebt, das Tragen einer Last mittelst eines über der Schulter ruhenden Stabes, Hebestangen, Pumpenschwengel, Hebeladen u. s. w. Mittelst eines sehr ungleicharmigen Hebels kann ein schwaches Kind eine große Last, ein starker Mann aber oft eine kleine Last nicht heben, wenn jenes an dem längeren, dieser an dem kürzeren Arme wirkt. Die Anwendung des Winkelhebels, welcher auch ein Hebel erster Art ist, zeigen die Thürklinken, Klingelgerüste, der Hammer beim Herausziehen eines Nagels an der Wand 2c.

2. **Hebel zweiter Art.** Da hier die Kraft vom Drehpunkte immer entfernter als die Last wirkt, also Ek immer $> El$ ist, so wird bei diesem Hebel auch immer an Kraft erspart, aber auch an Weg und Zeit zugesetzt, oder: je mehr an Kraft erspart wird, desto langsamer bewegt sich die Last. Es ist hier immer:

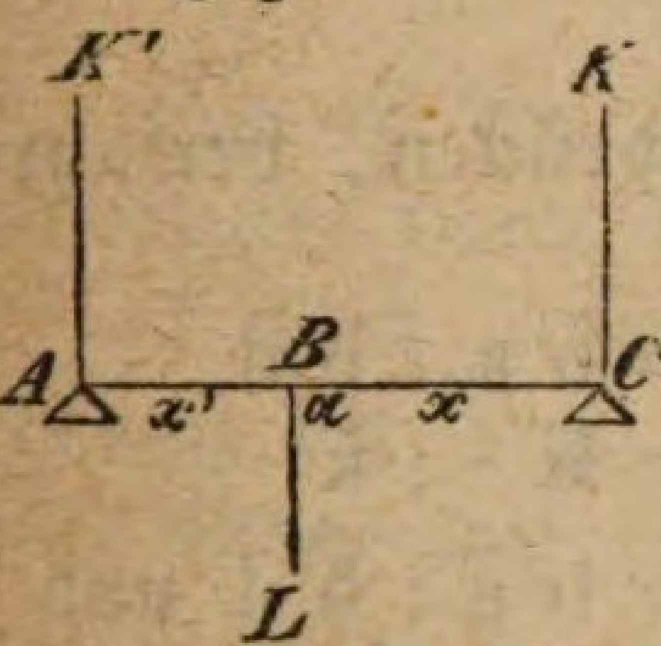
$$K = \frac{L}{n} \text{ und } Gk = n . Gl.$$

Wie bestimmt man bei einem Hebel zweiter Art den Angriffspunkt der Last, wenn 2, 3, 4 Pfd. 2c. mit 1 Pfd. ins Gleichgewicht gesetzt werden sollen?

Schubkarren, ein zweirädriger Wagen, Schlüssel, das Schneidemesser der Kaufleute, Nußknacker, Bohrer, Ruder, mit denen man die Schiffe vorwärts treibt, Stangen, mit denen man die Lasten fortschiebt; jede in ihrer Angel

bewegte Thür; wie zwei Personen auf einem Stabe eine Last tragen, wo eigentlich zwei Hebel zu betrachten sind, in der Art, daß immer die Hand der einen der Drehpunkt für den Hebel der anderen ist; sind die Personen gleich stark, so ist die Last in der Mitte des Stabes, sind sie aber ungleich stark, entfernter von der schwächeren und zwar an derjenigen Stelle aufzuhängen, deren Entfernungen von den Angriffspunkten der Personen sich umgekehrt wie die Stärke derselben verhalten. Denn wenn in Figur 7 AC = a, AB = x' und BC = x gesetzt wird, so ist:

Figur 7.



$$\left.\begin{array}{l} Lx' = Ka \\ Lx = K'a \end{array}\right\} \begin{array}{l} Lx' : Lx = Ka : K'a \\ x' : x = K : K' \end{array}$$

$$\text{oder } K'x' = Kx.$$

Ein mit seinen Enden auf Unterlagen ruhender und an irgend einer Stelle eine Last tragender Balken.

3. Hebel dritter Art. Da hier die Kraft näher am Drehpunkte als die Last wirkt, in der Gleichgewichtsformel also Ek immer $<$ El zu setzen ist, so ist jene beim Gleichgewichte größer und bewegt sich langsamer, als diese.

Es ist hier:

$$K = n \,.\, L \text{ und } Gk = \frac{Gl}{n}.$$

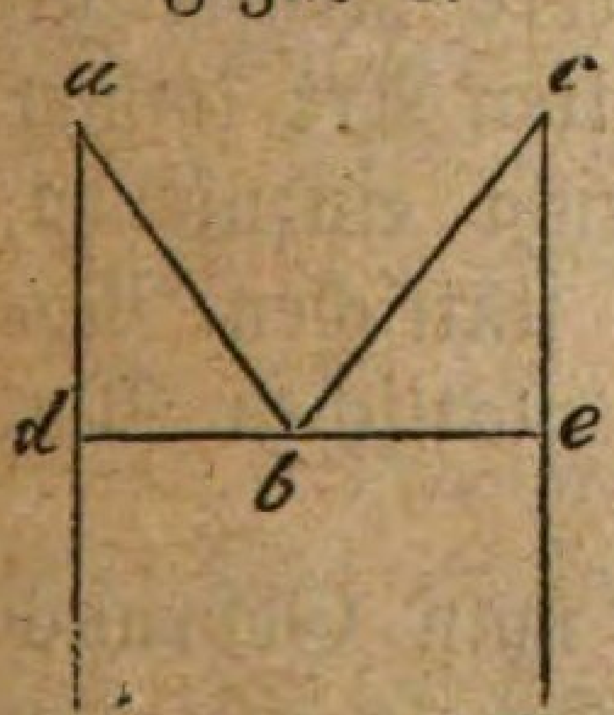
Dieser Hebel findet seine Anwendung da, wo Kraft genug vorhanden ist und eine schnelle Bewegung hervorgebracht werden soll.

Die Federn, Reißfedern, Bleistifte, Pinsel bei ihrem Gebrauche, Feuerzangen, Scheeren, mit denen man den Schafen die Wolle abnimmt; die Glieder des thierischen Körpers, die mittelst der Muskeln bewegt werden.

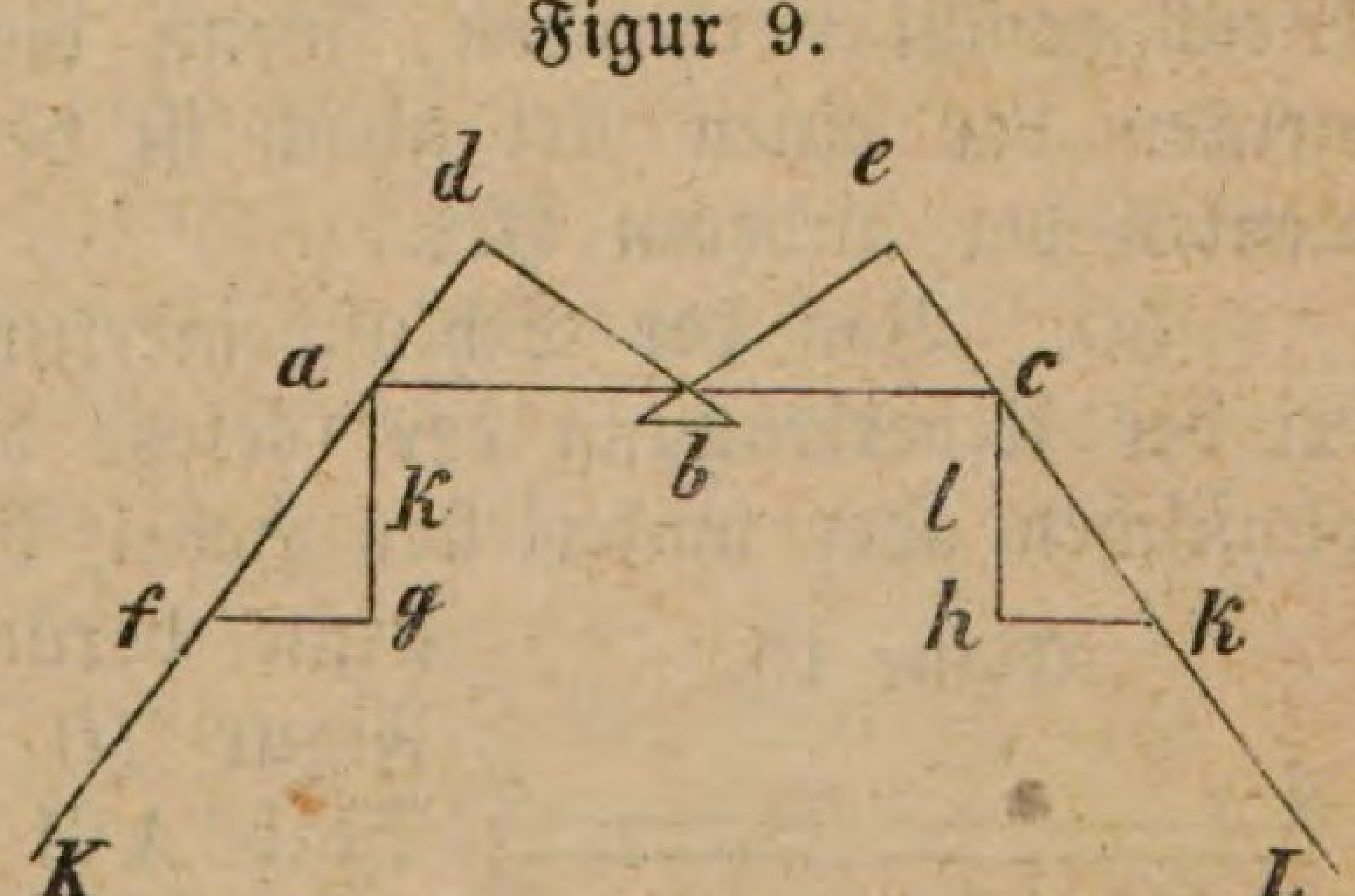
Eine Kraftersparniß ist beim Hebel erster Art also nur dann vorhanden, wenn er ungleicharmig ist und die Kraft am längern Arme wirkt; beim Hebel zweiter Art aber immer, so wie bei dem dritter Art niemals.

49. Wirken die Kräfte auf die Hebelsarme schief, so ist in jedem besonderen Falle die Gleichgewichtsformel danach anzugeben, daß man sich streng an den Begriff der Entfernungen der Kräfte hält. Hat man einen Winkelhebel, in Figur 8 abc, sind in a und c Gewichte aufgehangen und sind bd und be die Entfernungen; oder hat man einen geradlinigen Hebel ac, bei welchem die Kräfte wie in Figur 9 so wirken, daß die Perpendikel bd und be die Verlängerungen der Richtungslinien treffen, so ist in beiden Fällen die Gleichgewichtsformel:

Figur 8.



Figur 9.



$$K : L = be : bd.$$

Der Beweis ist leicht zu führen, unter der Voraussetzung, daß die Gleichgewichtsformel für den Fall, in welchem die Kräfte senkrecht

wirken, richtig ist. Man zerlege z. B. in Figur 9 sowohl K als L in eine auf ac senkrechte und in eine mit ihr parallele Kraft; die parallelen, hier durch fg und hk dargestellt, tragen, da sie längs ba und bc auf den festen Punkt b wirken, zur Bewegung nichts bei, nur die senkrechten k und l bringen sie hervor; aber:

$$k : l = bc : ba.$$

Um k und l durch K, L, db und eb auszudrücken, verfahre man so:

$$\triangle afg \sim \triangle adb, \text{ also } af : ag = ba : bd$$
$$\text{aber auch } af : ag = K : k$$
$$\text{also } K : k = ba : bd \text{ und}$$
$$k = K \cdot \frac{bd}{ba}.$$

$$\text{Desgleichen } \triangle chk \sim \triangle bec, \text{ also } ck : ch = bc : be$$
$$ck : ch = L : l$$
$$L : l = bc : be$$
$$l = L \cdot \frac{be}{bc} \text{ und die Proportion}$$

$k : l = bc : ba$ geht also durch Substitution über

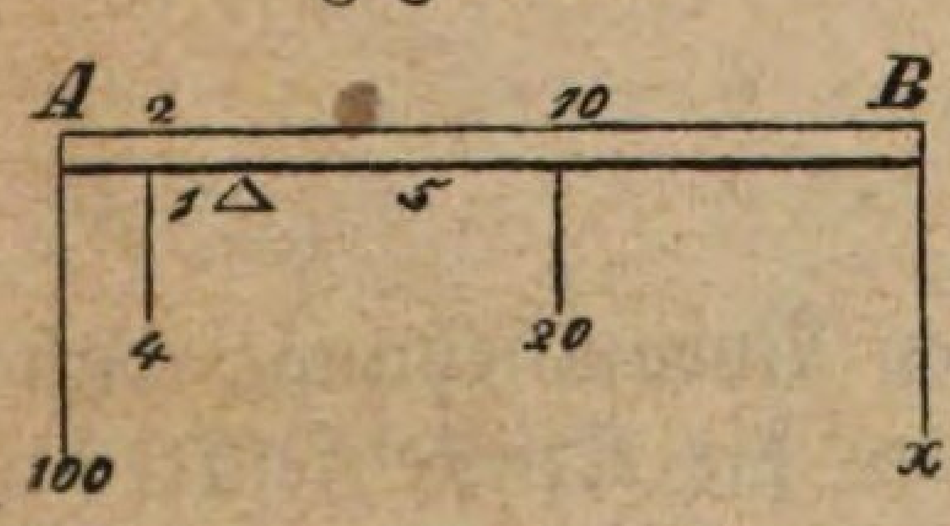
$$\text{in } K \cdot \frac{bd}{ba} : L \cdot \frac{be}{bc} = bc : ba$$
$$\text{woraus folgt } K \cdot bd = L \cdot be$$
$$\text{oder } K : L = be : bd.$$

Da bei der Zerlegung einer schief wirkenden Kraft in eine horizontal und eine perpendikular wirkende die letztere desto kleiner wird, je schiefer die ursprüngliche Kraft wirkt, so ist aus der Lage des Muskels zwischen dem Ober- und Unterarme leicht erklärlich, daß wir mehr zu tragen im Stande sind, wenn der Oberarm perpendikular und der Unterarm horizontal gehalten wird, als wenn der ganze Arm horizontal ausgestreckt wird. Die Antwort auf die Frage, warum ein Gewehr am Laufe gehalten schwerer erscheint, als wenn es am Kolben gehalten wird, erfordert außer der Kenntniß der Lehre vom Hebel auch noch die vom Schwerpunkte. (§ 64.)

Wirken endlich bei einem Hebel erster Art mehrere Kräfte an jedem Hebelsarme, oder bei denen der zweiten und dritten Art immer mehrere nach derselben Richtung hin, so ist, wie leicht einzusehen, Gleichgewicht vorhanden, wenn die Summe aus den statischen Momenten der einen Art gleich ist der Summe aus den statischen Momenten der anderen Art.

50. Von der Schlußbemerkung des § 49 macht man Gebrauch bei der Uebertragung der Gesetze des mathematischen Hebels auf den physischen oder materiellen Hebel, bei welchem das Gewicht der Hebelsarme berücksichtigt werden muß. Es sei in Figur 10 der prismatische oder zylindrische Stab AB 12 Fuß lang, der Drehpunkt liege so, daß der 2 Fuß lange Hebelsarm 4 Pfd., der 10 Fuß lange 20 Pfd. wiege, an dem kürzeren Hebelsarme seien 100 Pfd. angebracht;

Figur 10.



man will wissen, wie viele Pfunde das Gleichgewicht in B verlangt. Denken wir uns die 4 Pfd. und die 20 Pfd. in den Schwerpunkten der Hebelsarme (§ 61), also die 4 Pfd. in der Entfernung von 1 Fuß, die 20 Pfd. in der Entfernung von 5 Fuß angebracht, so steht:

$5 . 20 + 10\,x = 4 . 1 + 100 . 2$, woraus folgt $x = 10{,}4$ Pfd.

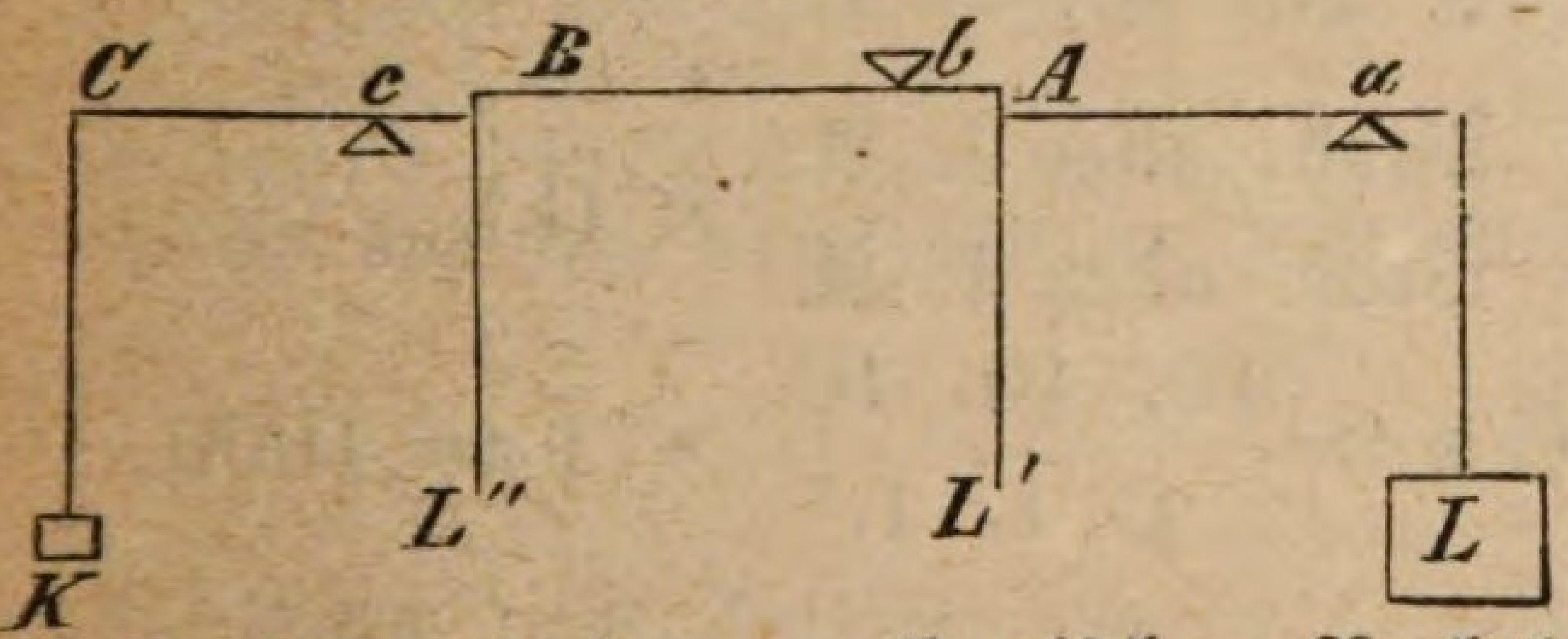
Wo ist der Drehpunkt bei einem physischen Hebel erster Art anzubringen, wenn die Last 100 Pfd., die Kraft 10,4 Pfd. beträgt und der 12 Fuß lange prismatische Stab 24 Pfd. wiegt? Ist die Entfernung der Last x, also die der Kraft 12 — x, so ist, da auf jeden Fuß Länge des Stabes 2 Pfd. Gewicht kommen,

$$100\,x + \tfrac{1}{2}\,x . 2\,x = 10{,}4\,(12 - x) + \tfrac{1}{2}\,(12 - x) . 2\,(12 - x)$$

woraus folgt $x = 2$ Fuß.

Hebelvorrichtung, um die Gesetze des Hebels durch Experimente zu beweisen.

Figur 11.



51. Durch eine Verbindung mehrerer ungleicharmiger geradliniger Hebel, wie in Figur 11, wo die Kräfte senkrecht wirkend angenommen werden, ließe sich zwar viel an Kraft ersparen, aber wegen des dabei stattfindenden großen mechanischen Nachtheils ist eine solche Verbindung fast unbrauchbar. Ist jeder längere Hebelsarm A, B, C immer 10 Mal größer, als jeder kürzere a, b, c, so ist die Frage: wie viele Pfunde Last an dem einen Ende dieser Hebelverbindung durch ein Pfund Kraft, an dem anderen derselben angebracht, ins Gleichgewicht gesetzt werden können, leicht zu beantworten; denn trägt der Arm C 1 Pfund, so erfordert der 10 Mal kürzere c 10 Pfd. zum Gleichgewicht; werden diese 10 Pfd. nach unten wirkend nicht aufgehangen, so drückt der Arm c den Arm B mit der Kraft von 10 Pfd. in die Höhe, und für diese 10 Pfd. des Armes B erfordert der 10 Mal kürzere Arm b nach dem Gleichgewichtsgesetze $10 . 10 = 100$ Pfd. nach oben wirkend; werden diese nicht angebracht, so drückt der Arm b den Arm A mit 100 Pfd. herabwärts, welche an dem wieder 10 Mal kürzeren Arme a nur mit $10 . 100 = 1000$ Pfd. ins Gleichgewicht gesetzt werden können. Bei dieser Hebelverbindung kann also jedes Gewicht eine 1000 Mal größere Last tragen; was auch so gefolgert werden kann: trägt a 1 Pfd., so erfordert A zum Gleichgewicht $\frac{1}{10}$ Pfd., für $\frac{1}{10}$ Pfd. des Armes b erfordert der Arm B $\frac{1}{10} . \frac{1}{10} = \frac{1}{100}$ Pfd. und für $\frac{1}{100}$ Pfd. des Armes c erfordert C $\frac{1}{100} . \frac{1}{10} = \frac{1}{1000}$ Pfd., d. h. die Kraft braucht hier nur der 1000. Theil der Last zu sein.

Soll die Last 1 Linie in die Höhe, so muß der Arm A, folglich auch der Arm b, 10 Linien herab, mithin die Arme B und c $10 . 10 = 100$ Linien herauf, und also der Arm C $10 . 100 = 1000$ Linien herab. Indem also die große Last von 1000 Pfd. nur 1 Linie steigt,

muß die kleine Kraft von 1 Pfund 1000 Linien sinken. Vergleiche § 48, 1.

Die Berechnung des mechanischen Vortheils überhaupt, wie verschieden auch immer die Längen der Arme sein mögen, geschieht hier so:

$$\begin{array}{rl} K : L'' & = c : C \\ L'' : L' & = b : B \\ L' : L & = a : A \\ \hline \text{also } K : L & = c\,.\,b\,.\,a : C\,.\,B\,.\,A, \end{array}$$

d. h. Kraft : Last = Prod. aller kürzeren Arme : Prod. aller längeren Arme,

$$\text{also Kraft} = \frac{\text{Prod. aller k. A.}}{\text{Prod. aller l. A.}} \times \text{Last.}$$

In dem vorigen Beispiele also:

$$K : 1000 = 1\,.\,1\,.\,1 : 10\,.\,10\,.\,10$$

$$K = \frac{1.\ 1.\ 1.}{1000}\,.\ 10.\ 10.\ 10. = 1.$$

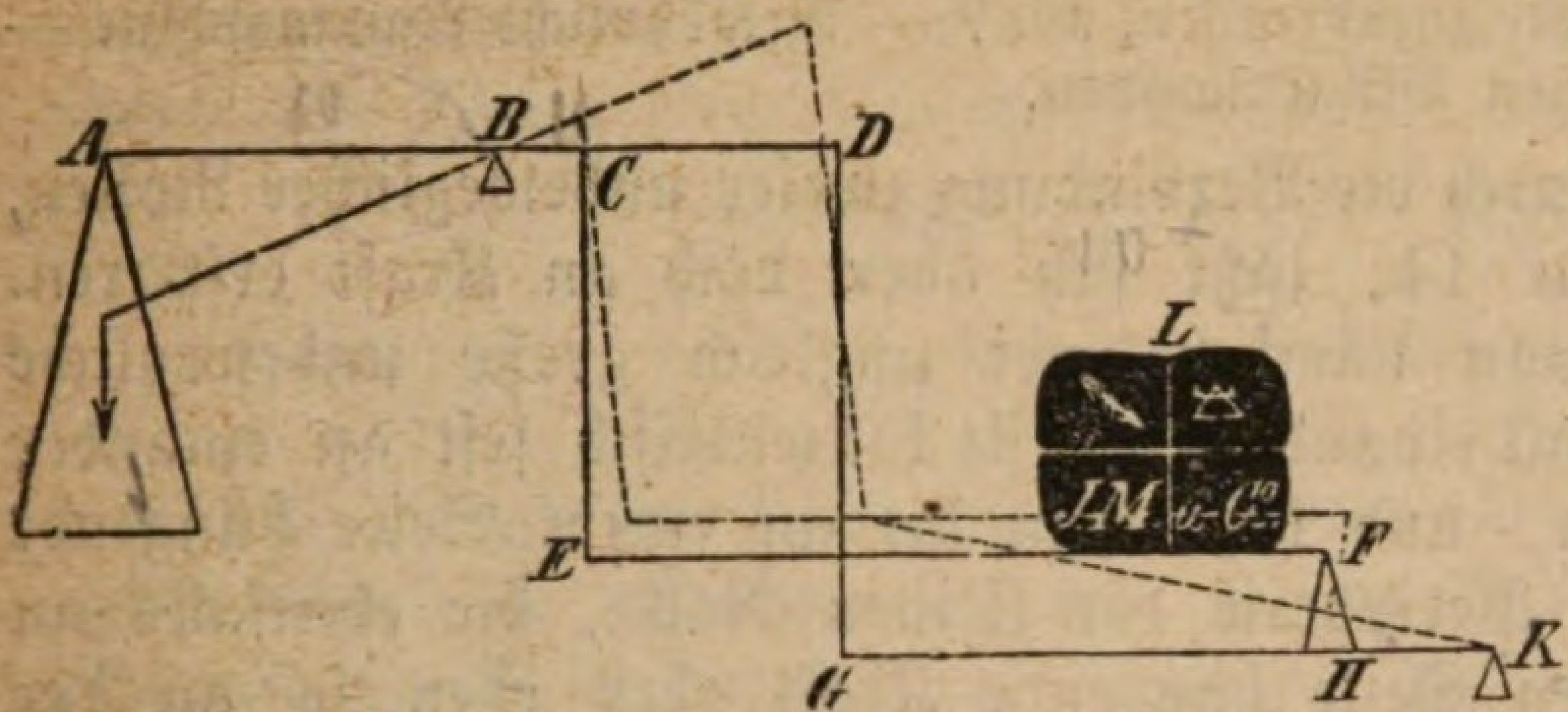
$$\text{Auch ist } G\,k = \frac{\text{Prod. aller l. A.}}{\text{Prod. aller k. A.}} \times G\,l.$$

$$\text{In dem vorigen Beispiel } G\,k = \frac{10.\ 10.\ 10.}{1.\ 1.\ 1.} \times 1 = 1000.$$

Die Waage (§ 48, 1) ist ein gleicharmiger Hebel (§ 45); die an beiden Enden des Waagebalkens wirkenden Kräfte (die Schalen mit den Gewichten und den abzuwägenden Gegenständen) müssen gleich sein. Fällt der Schwerpunkt (61) der Waage mit dem Aufhängungspunkt zusammen, so kann zwar bei völlig gleichem Gewicht auf beiden Seiten die horizontale Lage des Waagebalkens erhalten werden; aber bei dem geringsten Uebergewicht auf der einen Seite würde die horizontale Lage in die vertikale überschlagen, was beim Gebrauch sehr lästig wäre. Man fertigt deshalb die Waage so, daß der Schwerpunkt etwas unterhalb dem Aufhängungspunkte fällt; dann treten (§ 63) nur geringe Schwankungen ein. Man prüft die Richtigkeit der Waage, indem man beide Schalen vertauscht und sieht, ob sich die horizontale Lage des Waagebalkens wieder herstellt. Diese wird bestimmt durch eine auf dem Waagebalken senkrechte Zunge, deren Spitze, zu genauen Messungen, einen genau getheilten Bogen beschreibt. Die Empfindlichkeit der Waage rechnet man im Verhältniß zu dem Gewichte, für welches sie bestimmt ist: z. B. bei 1 Pfund Tragkraft und $^1/_{300000}$ Feinheit giebt sie Zuverlässigkeit bis auf $^1/_{30}$ Korn. Die Reibung muß sowohl im Stützpunkt der Waage, als auch bei der Verbindung der Schalen mit dem Waagebalken möglichst vermieden werden.

Die sogenannte Brückenwaage ist ein auf eigenthümliche Art aus Hebeln zusammengesetztes Instrument, mit welchem man mittelst kleiner Gewichte sehr bequem große Lasten abwiegen kann, was folgende Andeutungen verdeutlichen

Figur 12.



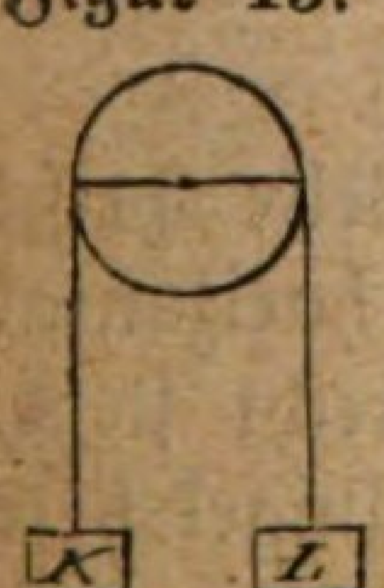
sollen. In Figur 12 hat der zweiarmige Hebel ABD in B seinen Drehpunkt, in C hängt mittelst der Stange CE die sogenannte Brücke EF, auf welche die Last L gelegt wird; mit D ist durch die Stange DG der einarmige Hebel GK, welcher in K seinen Drehpunkt hat und in H die Brücke EF trägt, in Verbindung. Die Einrichtung, daß bei stattfindender Bewegung H und E, also auch F und D, mithin auch alle Theile der Brücke, gleich hoch sich heben, wird dadurch erreicht, daß GK so oft die HK übertrifft, als BD die BC, z. B. 5 Male; denn hebt sich durch die Belastung der Waagschale in A der Punkt C um 1″, so hebt sich D um 5″ — E hebt sich aber um so viel als C, also um 1″, und G um so viel als D, also um 5″ — hebt sich aber G um 5″, so hebt sich H um 1″; mithin heben sich F und E um gleichviel, hier um 1″. Die Waagschale aber sinkt so viele Male mehr, als C steigt, als oft AB größer als BC ist, d. i. bei den sogenannten Dezimalwaagen 10, bei den Zentesimalwaagen 100 Mal, so daß bei jenen die Gewichte immer nur den 10., bei diesen nur den 100. Theil der Last betragen.

---

2. Von den Rollen, von dem Rade an der Welle, von den Flaschenzügen und Räderwerken.

52. Eine Rolle ist eine Scheibe aus fester Masse (Holz, Metall), mit einem rinnenförmig ausgehöhlten Rande, in welchen man einen Faden, ein Seil, eine Schnur oder eine Kette legt, deren Enden mit Gewichten versehen, oft aber auch irgendwo befestigt werden. Die Rolle ist nur eine besondere Art des Hebels.

Figur 13.

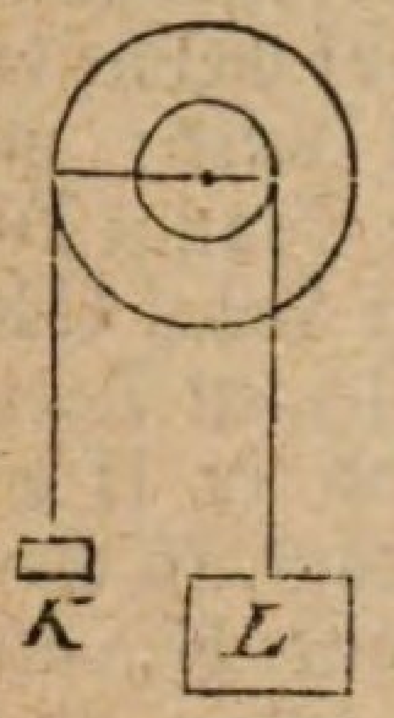


53. Wenn sich die Rolle, wie in Figur 13, um eine durch den Mittelpunkt, senkrecht auf ihrer Ebene, gehende Achse bewegt, und die Schnur, über sie hinweggehend, auf beiden Seiten herabhängt, so heißt sie eine feste oder unbewegliche Rolle, weil sie, obwohl um ihre Achse sich bewegend, ihren Ort im Raume doch nicht ändert. Der Drehpunkt ist der Mittelpunkt, Kraft und Last wirken gleichsam an den Endpunkten des horizontalen Diameters, weshalb also jede um den Radius vom Drehpunkte entfernt ist. Eine solche Rolle ist offenbar ein zweiarmiger, gleicharmiger Hebel, und kann mithin nicht zur Ersparniß an Kraft dienen (§ 48, 1); ihr großer Nutzen besteht aber darin, daß man durch sie jede Kraft in jeder beliebigen Richtung wirken lassen kann, weshalb man sie auch Richtungsrolle nennt.

Gewichte ziehen nur von oben nach unten, Menschen können zwar nach allen Richtungen, am stärksten aber doch auch von oben nach unten, dagegen das Zugvieh am stärksten horizontal ziehen. Um eine Last von unten aus in

die Höhe zu ziehen, reicht im ersten und zweiten Falle eine Rolle zu, im dritten würde es bequem sein, zwei anzubringen, wie? — Gewöhnliche Rammaschine — die großen, mehrzylindrigen Billardlampen.

Figur 14.



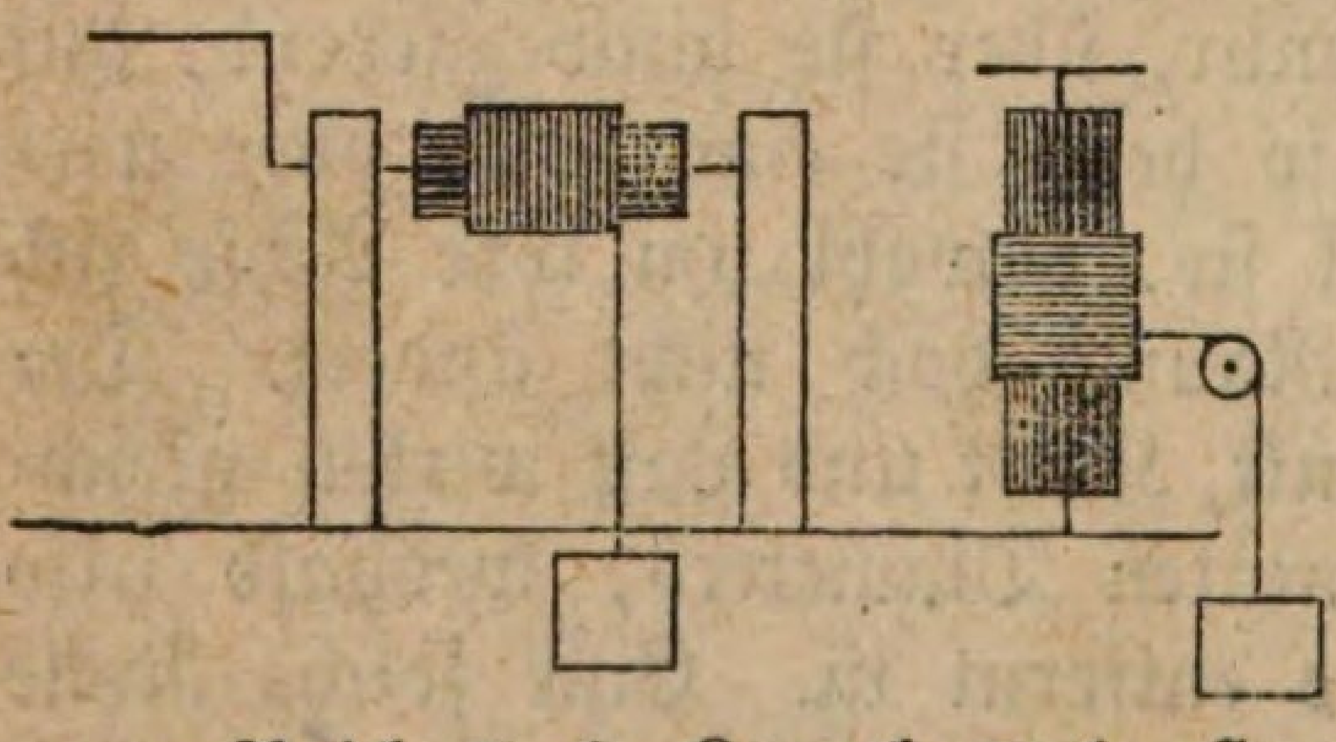
54. Durch die Verbindung zweier unbeweglicher Rollen, wie in Figur 14, läßt sich aber doch an Kraft ersparen. Verbindet man nämlich zwei ungleich große unbewegliche Rollen so mit einander, daß sie konzentrisch fest an einander gemacht sind, und läßt man die an einem Seile hängende Last an der Peripherie der kleinen Rolle, die ebenfalls an einem eigenen Seile hängende Kraft aber eben so an der Peripherie der großen Rolle, der Last entgegengesetzt, wirken, was man dadurch erreicht, daß man die beiden Seile in entgegengesetzter Richtung aufwickelt, so hat man einen zweiarmigen ungleicharmigen Hebel (§ 48, 1), für dessen Gleichgewicht steht:

$$L : K = R : r \text{ oder } K\,R = L\,r,$$

also $K = \frac{r}{R} . L$, wobei R den Radius der größeren, r den Radius der kleineren Rolle bedeutet. Je nachdem $R = 2\,r,\ 3\,r,\ 4\,r$ u. s. w. ist, erfordert das Gleichgewicht in derselben Ordnung $K = \frac{1}{2} L$, $\frac{1}{3} L$, $\frac{1}{4} L$ u. s. w.; auch ist $G\,k = 2\,G\,l,\ 3\,G\,l,\ 4\,G\,l$ u. s. w.

Denkt man sich nun statt der kleinen Rolle einen Zylinder (Welle), statt der großen Rolle ein Rad, welches mit jenem fest verbunden ist und auf ihm senkrecht steht, so daß die Achse des Cylinders durch den Mittelpunkt des Rades geht, so nennt man diese Verbindung ein Rad an der Welle. Die Last hängt an einem Seile, welches um die Welle herumgeschlagen ist; die Kraft, durch Menschen, Thiere oder leblose Gegenstände ausgeübt, wirkt an der Peripherie des Rades (innerhalb, außerhalb oder auf dessen Rande) oder an den statt des Rades gebrauchten Sprossen, Speichen oder Hebeln, von denen die geraden: Triebstöcke, die knieförmig gebogenen: Kurbeln heißen.

Figur 15.



Das Rad an der Welle heißt Haspel, wenn die Welle horizontal liegt, das Rad also senkrecht steht, Erdwinde, wenn das Umgekehrte stattfindet. Figur 15.

Radhaspel, Kreuzhaspel, Hornhaspel, je nachdem die Kraft an einem Rade, an Speichen oder an einer Kurbel wirkt — Brunnen, Schachte — Laufräder, Treträder, Tretscheiben, Stufenräder, Wasserräder, Windräder, Wagenräder. Bei der Umdrehung des Rades um die Axe ist die Reibung hinderlich, welche sich nach dem Verhältniß des Durchmessers der Axe zu dem des Rades richtet; daher macht man den Durchmesser der Axe möglichst klein. — Vortheil der eisernen Axen gegen hölzerne.

Wenn die Kraft um so viel sinkt, als die Peripherie des Rades beträgt, so steigt die Last erst um so viel, als die Peripherie der

Welle beträgt, d. h. die Geschwindigkeit der Kraft verhält sich zur Geschwindigkeit der Last, wie die Peripherie des Rades zu der Peripherie der Welle, oder wie ihre Diameter oder Radien, also:

$$Gk : Gl = 2\,R\pi : 2\,r\,\pi = 2\,R : 2\,r = R : r$$

$$Gk = \frac{R}{r}\,.\,Gl.$$

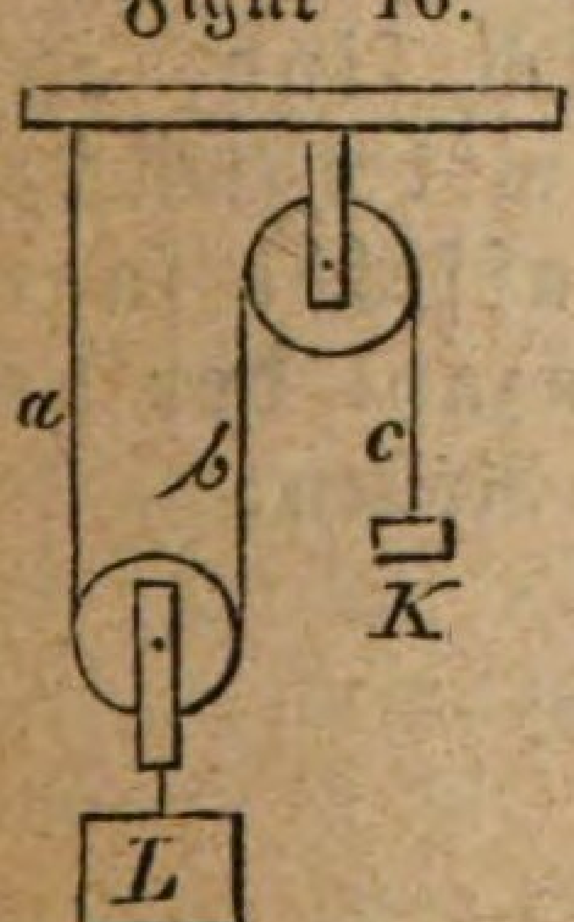
55. Hängt die Rolle in der Schnur, so daß das eine Ende derselben irgendwo befestigt ist, am andern Ende die Kraft hinaufzieht, während im Mittelpunkte der Rolle die Last herabzieht, so heißt sie eine bewegliche Rolle. Eine solche Rolle ist ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt ein Punkt der Peripherie ist, weshalb sie auch bei stattfindender Bewegung ihren Ort im Raume verändert und daher bewegliche Rolle genannt wird. Die Last ist um den Radius, die Kraft aber um den Diameter oder den doppelten Radius vom Drehpunkte entfernt (§ 48, 2); das Gleichgewicht erfordert mithin eine Kraft, welche die Hälfte der Last, wozu das Gewicht der Rolle mit gehört, beträgt, und man sagt: durch die bewegliche Rolle erspart man immer die Hälfte an Kraft.

$$K : L = R : 2\,R = 1 : 2.$$

$$\text{also } K = \tfrac{1}{2}\,L.$$

Daß auch $Gk = 2\,Gl$ ist, übersieht man am deutlichsten, wenn man eine bewegliche Rolle mit einer unbeweglichen verbindet, wie man das auch oft findet, z. B. bei den Straßen-Reverberirlaternen. Soll in Figur 16 die bewegliche Rolle mit der Last (L) 1′ in die Höhe, so müssen sich die Seile a und b jedes um 1′ verkürzen, c also um 2′ verlängern, d. h. die Kraft muß 2′ sinken, indem die Last nur um 1′ steigt.

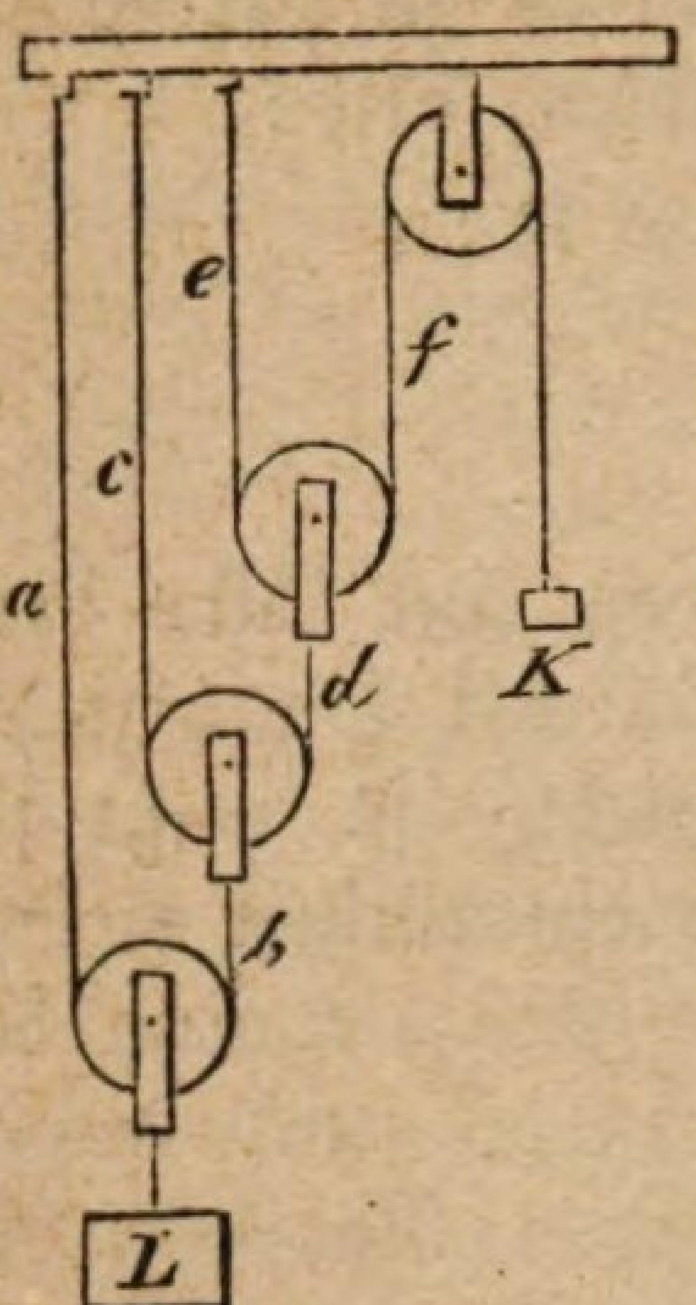
Figur 16.



56. Wie sich (§ 51) mehrere ungleicharmige Hebel verbinden lassen, um bedeutend an Kraft zu sparen, so läßt sich das auch weit bequemer mit Rollen thun. Die beweglichen Rollen bewirken bei dieser Verbindung die Ersparniß, die unbeweglichen sind gleichsam nur die Fortpflanzer der Ersparnisse. Solche Verbindungen beweglicher und unbeweglicher Rollen heißen Flaschenzüge, von denen hier nur die zwei Hauptarten, der Potenzenflaschenzug und der gemeine Flaschenzug, herausgehoben werden.

1. Potenzenflaschenzug, Figur 17. Verbindet man eine bewegliche Rolle mit einer unbeweglichen, wie in § 55, so erfordert das Gleichgewicht $K = \frac{L}{2}$. Wird nun das Seil von der beweglichen Rolle, welche zum Gleichgewichte die halbe Last erfordert, noch nicht über die unbewegliche Rolle gezogen, sondern an den Mittelpunkt einer zweiten beweglichen Rolle, die in gehöriger Entfernung für sich

Figur 17.



in einem eigenen Seile hängt, befestigt, so wird diese zweite Rolle von dem ersten Seile mit $\frac{L}{2}$ herabgezogen, oder, was dasselbe ist: es ist, als hinge an der zweiten Rolle ein Gewicht $= \frac{L}{2}$. Um dieses ins Gleichgewicht zu setzen, ist wieder die Hälfte der Last nöthig, d. h. $\frac{L}{2 \cdot 2} = \frac{L}{2^2}$. Dieses kann nun die Last für eine dritte im eigenen Seile hängende bewegliche Rolle sein, und eine halb so große Kraft, also $\frac{L}{2^2 \cdot 2} = \frac{L}{2^3}$, wird sie ins Gleichgewicht setzen. Dieses Seil, welches mit $K = \frac{L}{2^3}$ heraufgezogen werden müßte, um bei drei Rollen das Gleichgewicht zu erhalten, wird, an dem Mittelpunkte einer vierten beweglichen Rolle angebracht, diese mit $\frac{L}{2^3}$ herabziehen; $K = \frac{L}{2^3 \cdot 2} = \frac{L}{2^4}$ wird das Gleichgewicht herstellen; — wird nun nach einer solchen Verbindung von 2, 3, 4 2c. beweglichen Rollen das Seil endlich über eine feste Rolle, die zur Ersparniß der Kraft nichts beiträgt, hinweggezogen, so ergiebt sich der Schluß: **Um die Kraft zu finden, die eine Last bei einer solchen Verbindung von Rollen, bei welcher alle bis auf die letzte beweglich sind, ins Gleichgewicht setzt, dividire man die Last so oft mit 2 (mit 2_n), als bewegliche Rollen (n) da sind, oder was dasselbe sagt, mit der sovielten Potenz von 2, als es die Anzahl der beweglichen Rollen angiebt**; also für n bewegliche Rollen:

$$K = \frac{L}{2 \cdot 2 \cdot 2 \ldots (n \text{ Mal})} = \frac{L}{2^n} \text{ oder:}$$

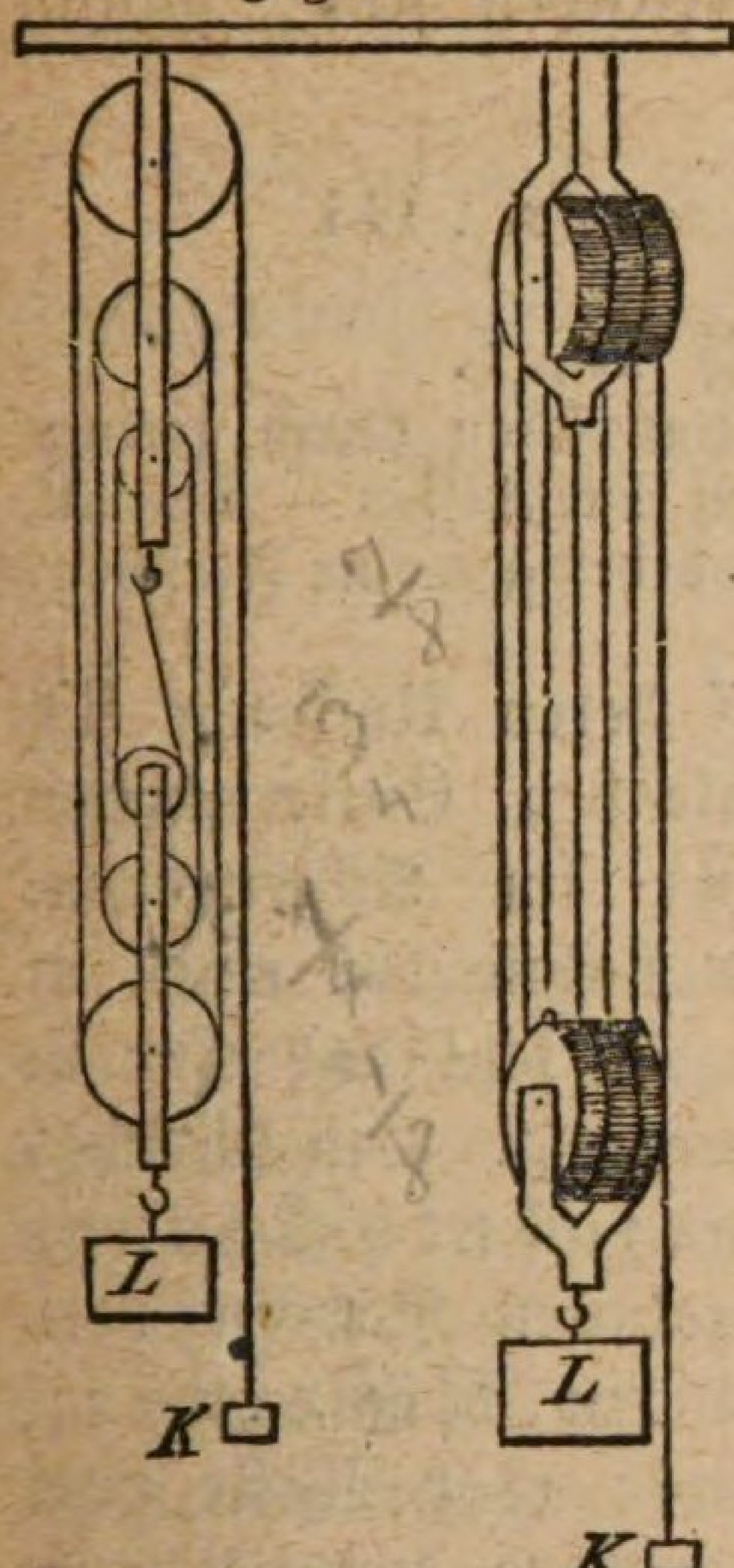
$$K : L = 1 : 2^n, \text{ d. h. } — ?$$

Für L = 800 Pfd., n = 3 ist

$$K = \frac{800}{2^3} = \frac{800}{8} = 100 \text{ Pfd.}$$

2. **Gemeiner Flaschenzug**, Figur 18. Dieser Flaschenzug besteht aus zwei **Kloben**, d. h. Gehäusen oder Hülsen, in deren einem sich bewegliche, in dem anderen unbewegliche Rollen, über oder neben einander, gewöhnlich in gleicher Anzahl befinden. Den Gang des Seiles ersieht man aus der Figur. Die Last, angebracht an dem unteren oder beweglichen Kloben, wirkt auf alle beweglichen Rollen und vertheilt sich zu gleichen Theilen unter sie; bei n beweglichen

Figur 18.



Rollen also in n gleiche Theile, und jede dieser Rollen bekommt gleichsam $\frac{L}{n}$ zu tragen. Jede Rolle erleichtert aber ihre Last um die Hälfte (§ 55), daher erfordert das Gleichgewicht:

$$K = \frac{L}{2n},$$

d. h. die Kraft ist gleich der Last, dividirt durch die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen oder dividirt durch die Anzahl der Seile des beweglichen oder unteren Klobens. Daraus folgt auch:

$$K : L = 1 : 2n, \text{ d. h. } —?$$

Für L = 600 Pfd. und n = 3 ist

$$K = \frac{600}{2 \,.\, 3.} = 100 \text{ Pfd.}$$

Beim Potenzenflaschenzuge von drei beweglichen Rollen wurden 800 Pfd. mit 100 Pfd., also 8 Pfd. mit 1 Pfd., beim gemeinen Flaschenzuge von eben so vielen beweglichen Rollen dagegen nur 600 Pfd. mit 100 Pfd., also nur 6 Pfd. mit 1 Pfd. ins Gleichgewicht gesetzt, und doch ist dieser gebräuchlicher als jener, welcher bei verschiedener Geschwindigkeit seiner Rollen mehr Raum erfordert, was (3) und (4) deutlich machen.

3. Steigt beim Potenzenflaschenzuge die Last, also auch die erste Rolle 1′, so verkürzt sich das Seil a um 1′, b verlängert sich um diesen 1′, indem es zugleich um 1′ für sich heraufrückt, die zweite Rolle rückt also um 2′ in die Höhe; das Seil c muß sich deshalb um 2′ verkürzen, d um diese 2′ verlängern, und zugleich für sich um 2′ in die Höhe gehen, also die dritte Rolle um 4′ in die Höhe rücken; diese Rolle kann nur dann um 4′ heraufrücken, wenn sich die Seile e und f jedes um 4′ verkürzen, die Kraft also 8′ (= 2^3) herabwärts geht. Ueberhaupt übertrifft der zurückgelegte Weg der Kraft den der Last so viele Male, als es diejenige Zahl anzeigt, welche man erhält, wenn die Zwei in die sovielte Potenz erhoben wird, als bewegliche Rollen vorhanden sind.

Aus $K = \frac{L}{2^n}$ folgt also auch hier: $Gk = 2^n \,.\, Gl$.

4. Soll beim gemeinen Flaschenzuge die Last steigen, so ist von selbst einleuchtend, daß dieses nur dann möglich ist, wenn sich jedes Seil des unteren Klobens um so ein Stück verkürzt, als die beiden Kloben einander näher kommen sollen, die Kraft also so viele Male

dieses Stück zurücklegt, als in jenem Seile vorhanden sind, mithin bei n beweglichen Rollen 2n Mal das Stück.

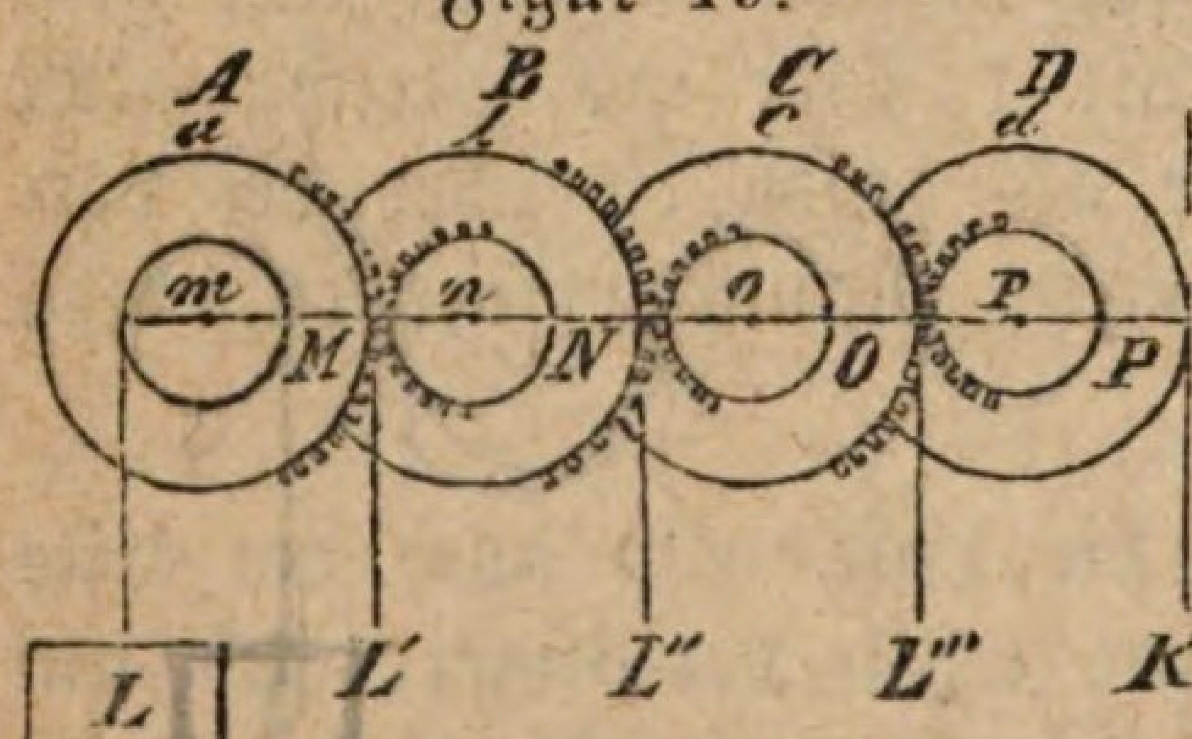
Aus $K = \frac{L}{2n}$ folgt also auch hier: $G k = 2n . G l$.

In beiden Fällen entsprechend dem Gesetz § 48, 1.

Der Potenzenflaschenzug wird nur gebraucht, wo man schon durch geringe Hebung der Last den bestimmten Zweck erreicht, z. B. auf Seeschiffen — überall, wo Lasten auf größere Höhen gehoben werden sollen, wird der gemeine Flaschenzug gebraucht.

57. Gezahnte Räder sind Räder, auf deren Umfange sich Vertiefungen und Hervorragungen in immer gleichen Entfernungen befinden. Diese Hervorragungen heißen Zähne im Allgemeinen. Werden zwei gezahnte Räder so gestellt, daß die Zähne des einen in die Vertiefungen des anderen eingreifen können, so setzt das eine in Bewegung gebrachte Rad auch das andere in Bewegung. Ein Gleiches findet statt, wenn ein gezahntes Rad und eine gezahnte Stange in einander greifen. Eine Vereinigung von gezahnten Rädern oder gezahnten Rädern mit gezahnten Stangen heißt ein Räderwerk. Befinden sich dabei an einer und derselben Achse oder Welle zwei ungleich große gezahnte Räder, so heißt das größere vorzugsweise Rad, und seine Zähne: Zähne schlechtweg; das kleinere aber Getriebe, so wie seine Zähne: Triebstöcke.

Figur 19.



58. a. Bringt man mehrere Paare von Rädern und Getrieben so an einander, daß immer ein Rad in das nächste Getriebe eingreift, so bewirkt ein solches Räderwerk eine große Kraftersparniß. Um die Welle a des Rades A in Figur 19 ist ein Seil gelegt, an dem die zu hebende Last hängt. Die Räder greifen in einander, wie es die Figur zeigt. Das letzte Getriebe hat eine Kurbel oder ein Rad, an dessen Peripherie eine Kraft wirkt. Die Berechnung der Kraftersparniß geschieht, alle Reibung abgerechnet, wie bei der Verbindung mehrerer ungleicharmiger Hebel (§ 51). Hätten die Welle a und die Getriebe b, c, d die Radien m, n, o, p, die Räder A, B, C, D nach der Reihe aber die Radien M, N, O, P, so steht:

$$K : L''' = p : P$$
$$L''' : L'' = o : O$$
$$L'' : L' = n : N$$
$$L' : L = m : M$$

also $K : L = p . o . n . m : P . O . N . M$,

d. h. die Kraft verhält sich zur Last, wie das Produkt der Radien der Getriebe zum Produkte der Radien der Räder,

also $K = \frac{p . o . n . m}{P . O . N . M} . L$. Wäre hier das Verhältniß der

Radien der Getriebe zu denen der Räder immer dasselbe m : n, so stünde:

$$K : L = m^4 : n^4; \text{ also } K = \frac{m^4}{n^4} . L, \text{ d. h. } -?$$

Wäre endlich m : n = 1 : z, so stünde:

$$K : L = 1 : z^4; \text{ also } K = \frac{L}{z^4}, \text{ d. h. } -?$$

Bei 1 : z = 1 : 6 wäre:

$$K = \frac{L}{6^4} = \frac{L}{1296},$$ d. h. mit 1 Pfd. könnte man 1296 Pfd. ins Gleichgewicht setzen.

Den mechanischen Nachtheil ergiebt folgende Ueberlegung: Da das Rad mehr Zähne als das Getriebe Triebstöcke hat, ein Zahn aber auch immer nur einen Triebstock weiter schiebt, so muß sich offenbar das Getriebe während einer Umdrehung des Rades so oft umdrehen, als oft die Anzahl der Triebstöcke in der Anzahl der Zähne enthalten ist; also bei 40 Zähnen und 8 Triebstöcken wird das Getriebe 5 Umwälzungen machen, während das Rad nur eine macht, d. h. die Anzahl der Umdrehungen in einander greifender Räder, in derselben Zeit, verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Anzahl ihrer Zähne.

Wenn bei dieser Verbindung alle Räder n Mal mehr Zähne als die Getriebe Triebstöcke haben, so kann man, da während einer Umdrehung eines Getriebes und seines zugehörigen Rades das nächste Getriebe n Umdrehungen macht, so urtheilen: Macht die Welle a, also auch das Rad A, eine Umdrehung, so muß das Getriebe b und sein Rad B deren n machen, das Getriebe c und sein Rad C aber n . n $= 2^2$, das Getriebe d und sein Rad oder die Kurbel D endlich $n . n^2 = n^3$ Umdrehungen, d. h. die Kurbel oder das Rad, an welchem die Kraft wirkt, muß n^3 Umdrehungen machen, damit die Welle a, an welcher die Last hängt, nur eine Umdrehung mache, oder die Kraft muß sich um n^3 Peripherien des Rades oder der Kurbel D herabbewegen, wenn die Last um die Peripherie der Welle heraufgezogen werden soll. Beträgt die Peripherie der Welle x Fuß, die des Rades D also nx Fuß, so würde die Kraft $n^3 . nx = n^4x$ Fuß zurücklegen müssen, wenn die Last um x Fuß gehoben werden sollte; nimmt man daher x = 1′ und n = 6 an, so müßte die Kraft sich $6^4 . 1' = 1296'$ bewegen, um die Last um 1′ zu heben, also:

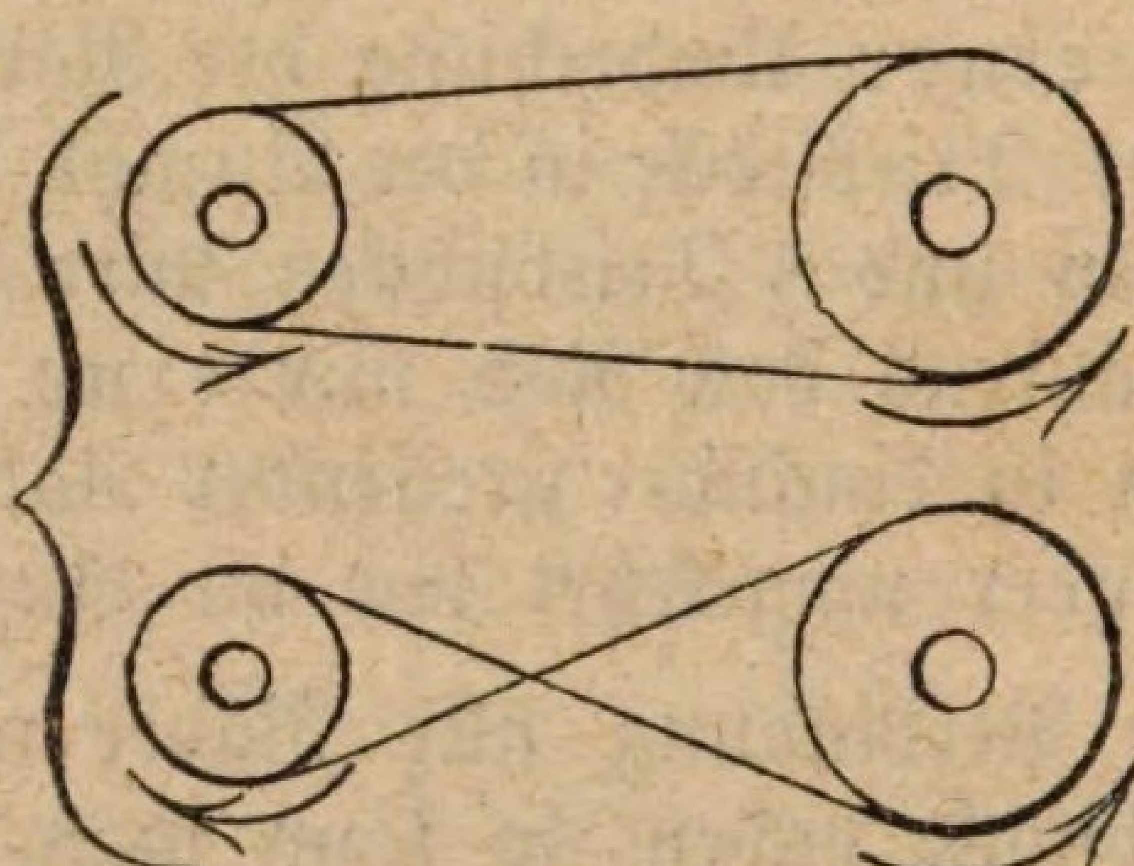
$$K = \frac{L}{n^4} \text{ und } Gk = n^4 . Gl.$$

Da sich die Räder desto schneller bewegen, je entfernter sie von der Welle, an der die Last hängt, sind, so sieht man zugleich ein, wie eine solche Verbindung der Räder und Getriebe zur Hervorbringung bedeutender Geschwindigkeit dienen kann. Die Geschwindigkeit des letzten Rades verhält sich zu der des ersten, wie das

Produkt der Anzahl der Zähne aller Räder zum Produkte der Anzahl der Triebstöcke aller Getriebe.

b. Außer der bis jetzt betrachteten Art, die Bewegung eines Rades auf ein anderes, mittelst der Zähne, fortzupflanzen, giebt es noch eine zweite Art, nämlich mittelst zusammenhängender, um die Räder gelegten Schnüre, Stricke, Seile, Riemen oder Ketten, wobei die Reibung derselben in den auf den Umkreisen der Räder angebrachten Riemen als das Fortpflanzungsmittel der Bewegung benutzt wird. Jener Art bedient man sich, wenn sich die Räder berühren, dieser aber, wenn sie von einander entfernt sind. Dabei legt man die Riemen so um die Räder, daß sie sich zwischen denselben kreuzen oder nicht kreuzen, je nachdem sich die Räder nach entgegengesetzter oder nach derselben Richtung drehen sollen, wie folgende Figur zeigt.

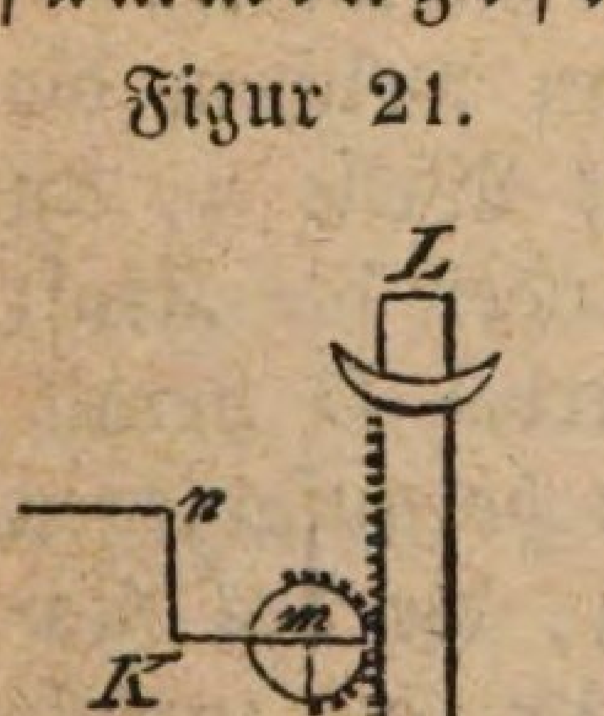
Figur 20.



Spinnmaschinen, Schleifmühlen, Drehbänke.

59. Den Gebrauch der gezahnten Stange sieht man deutlich an der Fuhrmannswinde oder einfachen Winde und an der zusammengesetzten Winde.

Figur 21.



1) Die einfache Winde besteht aus einer beweglichen gezahnten Stange, einem in sie greifenden Getriebe und einer Kurbel. Das durch die Kurbel bewegte Getriebe schiebt die Stange, mit welcher die Last ober- oder unterwärts verbunden ist, herauf und herunter. Verhält sich in Figur 21 die Kurbellänge zu dem Radius des Getriebes wie n : m, so steht:

$$K : L = m : n, \text{ also } K = \frac{m}{n} . L,$$

also bei m : n = 1 : z = 1 : 6

$$K = \frac{L}{z} = \frac{L}{6}.$$

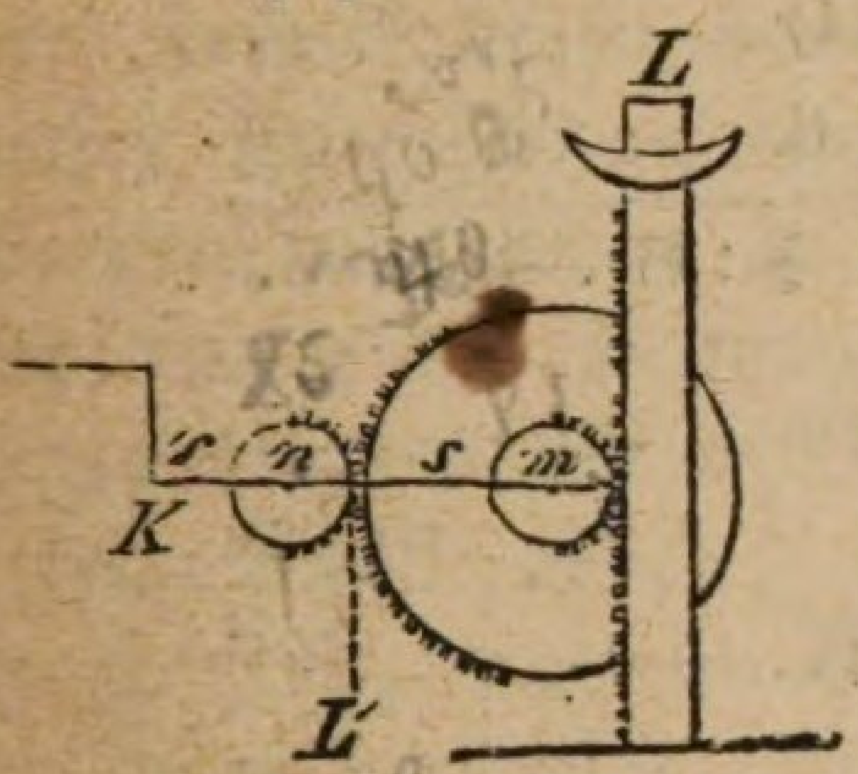
Bei einer Umdrehung der Kurbel rückt die Stange, also auch die mit ihr verbundene Last, um die Peripherie des Getriebes herauf oder herunter und bei dem Radienverhältnisse 1 : z steht:

$$Gk : Gl = z : 1, \text{ also } Gk = z\,Gl$$

$$\text{und bei } 1 : 6, \text{ mithin } Gk = 6\,Gl.$$

Argand'sche Lampen. — Die größeren einstiefligen Luftpumpen (§ 134) enthalten eine gezahnte Stange und ein Getriebe; die zweistiefligen dagegen ein Getriebe zwischen zwei gezahnten Stangen, deren Bewegung daher nach entgegengesetzten Richtungen geschieht.

Figur 22.



2) Die zusammengesetzte Winde in Figur 22 besteht aus einer Kurbel, zwei Getrieben, einem Rade und einer gezahnten Stange, die wieder der bewegliche Theil ist. Die Kurbel wirkt auf ein Getriebe, dieses greift in ein Rad, und dessen Getriebe in die zu bewegende Stange, mit welcher die Last verbunden ist. Diese Figur ergiebt:

$$\left.\begin{array}{l} K : L' = n \; : r \\ L' : L = m \; : s \\ \hline K : L = mn : rs \end{array}\right\} \text{ also } K = \frac{mn}{rs} \,.\, L$$

r = s = 6 und n = m = 1 gesetzt, giebt:

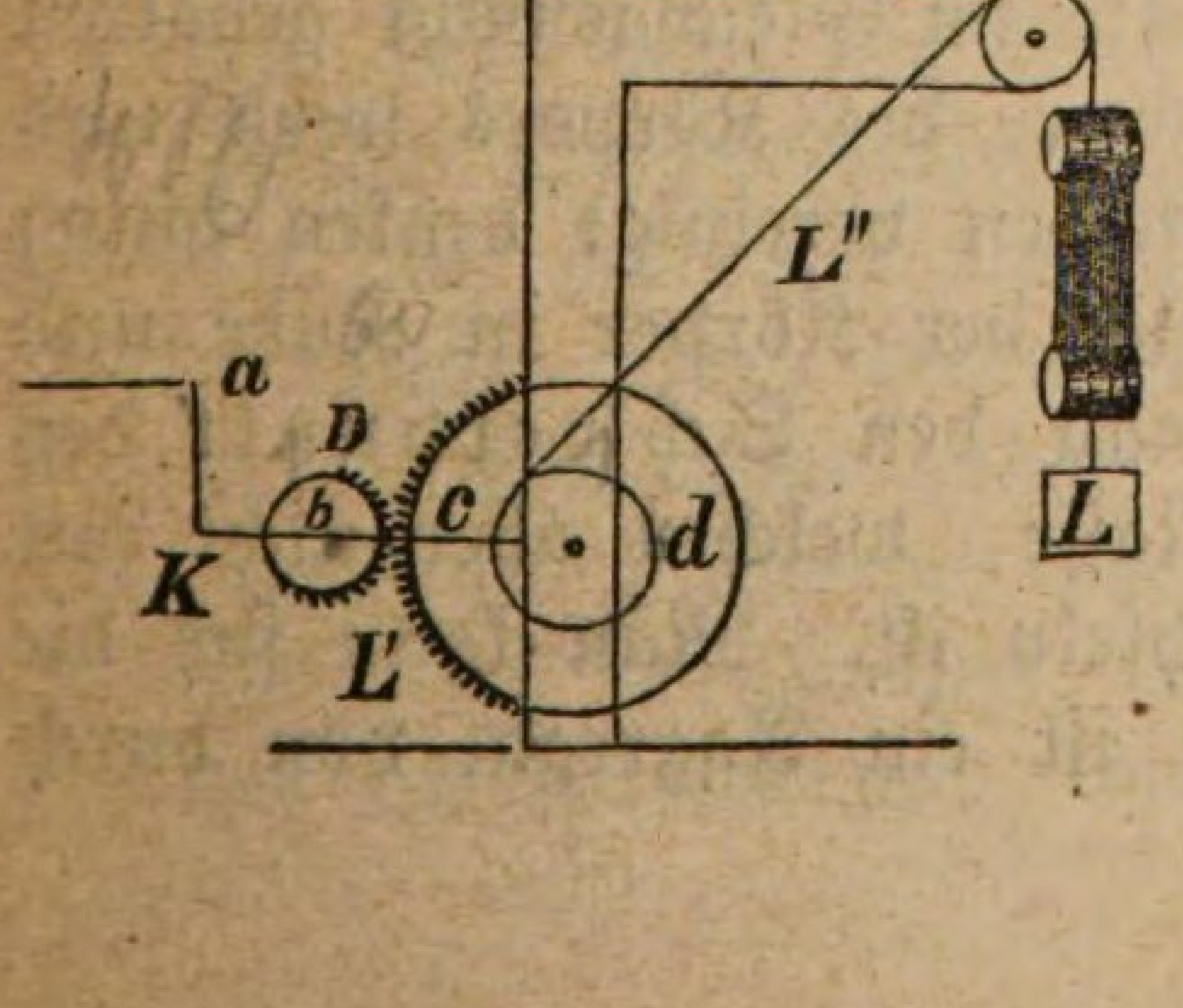
$$K = \frac{L}{6 \,.\, 6} = \frac{L}{36}.$$

Soll hier die Last oder die sie hebende Stange um die Peripherie des in sie greifenden Getriebes in die Höhe gehen, so muß dieses mit seinem Rade eine Umdrehung machen, die Kurbel aber und das durch sie bewegte und auf das Rad wirkende Getriebe so viele Umdrehungen, als oft der Radius dieses Getriebes in dem des Rades enthalten ist, also wenn s = 6 und n = 1 ist, 6 Umdrehungen. Da aber auch r = 6 ist, so ist die Peripherie der Kurbel 6 Mal größer, als die des Getriebes, und 6 Umdrehungen der Kurbel machen also das 36fache einer Umdrehung des in die Stange eingreifenden Getriebes, d. h. steigt die Last 1' in die Höhe, so muß die Kraft 36' zurücklegen; also überhaupt:

$$K = \frac{mn}{rs} \,.\, L \text{ und } Gk = \frac{rs}{mn} \,.\, Gl.$$

60. Der Kranich oder Krahn ist eine Maschine, die man oft zu sehen Gelegenheit hat, namentlich an schiffbaren Flüssen, an denjenigen Stellen, wo Schiffe mit großen Lasten beladen und aus ihnen große Lasten ans Ufer ausgeladen werden. Diese Maschine hat die doppelte Bestimmung: Lasten mit Kraftersparniß zu heben und sie darauf seitwärts zu bewegen. Durch die Kurbel in Figur 23 bewegt man das Getriebe D, welches in das Rad C eingreift, um dessen Welle ein Seil gewickelt ist, welches von da nach dem bei A angebrachten Flaschenzuge (§ 56, 2) geht, an dessen unterem Kloben die Last hängt. Heißen die Radien der Kurbel, des Getriebes,

Figur 23.



des Rades und der Welle a, b, c, d, ist $a : b = 8 : 1$, $c : d = 10 : 1$, und ist der Flaschenzug ein dreifacher gemeiner Flaschenzug, so ist, wenn der allgemeine und besondere Fall zusammengefaßt werden:

$$K : L' = b : a \quad \text{hier} = 1 : 8$$
$$L' : L'' = d : c \quad \text{hier} = 1 : 10$$
$$L'' : L = 1 : 2n \quad \text{hier} = 1 : 6$$
$$K : L = bd : ac\,.\,2n \quad \text{hier} = 1\,.\,1\,.\,1 : 8\,.\,10\,.\,6.$$

$$\text{also } K = \frac{b\,.\,d}{ac\,.\,2n}\,.\,L \text{ und}$$

$$\text{hier } K = \frac{L}{480} \text{ und } L = 480\,K.$$

Eine Menschenkraft von 40 Pfund würde also eine Last von $480\,.\,40 = 19200$ Pfund im Gleichgewichte halten.

Nimmt man die Peripherie der Welle und des Getriebes $= 1'$, so läßt sich der mechanische Nachtheil so beurtheilen: Rückt die Last 1′ in die Höhe, so verlängert sich das Seil um 6′; damit nun die Welle diese 6′ Verlängerung des Seils aufwickeln könne, muß sie, so wie ihr Rad 6 Umdrehungen, das Getriebe und die Kurbel aber $10\,.\,6 = 60$ Umdrehungen machen. 60 Peripherien der Kurbel sind aber $= 8\,.\,60$ Peripherien des Getriebes, d. h. $= 8\,.\,60\,.\,1' = 480'$,

also auch hier: $K = \frac{L}{480}$ und $Gk = 480\,Gl.$

In allen diesen Fällen zeigt sich, wie § 48, 1, das Gesetz: was man an Kraft gewinnt, verliert man an Geschwindigkeit.

Wenn die winkelförmige Balkenverbindung, an welcher sich das ganze Räderwerk befindet, an dem senkrechten Theile oben und unten mit Zapfen versehen ist, die sich in festen Lagern bewegen, so ist die horizontale Bewegung des ganzen Krahns durch Zug oder Druck von der Seite her leicht zu bewirken.

---

3. Von dem Schwerpunkte.

61. Da bei einem Körper jedes Massentheilchen durch seine Schwerkraft wirkt, so kann man nach den Gesetzen des Hebels einen Punkt finden, durch dessen Unterstützung die Kräfte im Gleichgewicht gehalten werden, auf welchen dann die ganze Schwere des Körpers wirkt und in welchem man sich die ganze Masse desselben vereinigt denken kann; ist dieser Punkt unterstützt, so befindet sich der Körper in Ruhe und im Gleichgewicht. Diesen Punkt nennt man den **Schwerpunkt** des Körpers, er ist der Mittelpunkt seiner Masse, welcher aber nicht mit dem Mittelpunkt seiner Größe zu verwechseln ist. Man kann sich die Sache so vorstellen: Jeder feste Körper ist ein Aggregat von durch

die Kohäsion zusammenhängenden Körpertheilchen oder materiellen Punkten. Denkt man sich zuerst zwei derselben von völlig gleichem Gewichte, so werden sie im Gleichgewichte sein, wenn die sie verbindende gerade Linie im Halbirungspunkte, welcher sich nothwendig in der Resultirenden befindet, unterstützt wird; der Punkt, auf welchem dieser Unterstützungspunkt ruhend gedacht wird, wird so stark gedrückt werden, wie wenn beide Körpertheilchen auf ihm ruhten. Denkt man sich ferner die Summe dieser beiden Körpertheilchen mit einem beliebigen dritten auf ähnliche Weise verbunden, so wird es auch für sie einen Punkt geben, in Bezug auf welchen die statischen Momente gleich sind, und in welchem wir uns die Gewichte aller drei Körpertheilchen vereinigt denken. Durch Hinzunahme eines vierten, sodann eines fünften &c. Punktes werden wir in der Vorstellung zuletzt auf einen solchen Punkt geführt, in welchem die Gewichte sämmtlicher Körpertheile vereinigt gedacht werden können, und welcher der Schwerpunkt des Körpers ist. Der Schwerpunkt ist daher immer ein Punkt der Resultirenden der Wirkungen der Schwere sämmtlicher Körpertheile. Er ist immer, so lange die Theile des Körpers eine unveränderte Lage behalten, ein unwandelbar fester Punkt, die Richtung der Resultirenden dagegen fällt in Bezug auf den Körper verschieden, je nachdem man ihn hält oder aufhängt. Der Durchschnittspunkt zweier solcher Richtungen der Resultirenden ist der Schwerpunkt.

Eine aus homogener Materie gleichmäßig gearbeitete Kreisscheibe im Mittelpunkte, eine viereckige Scheibe von überall gleicher Dicke in Form eines Parallelogrammes im Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen, eine dreieckige im Durchschnittspunkte der von zwei Winkeln nach den Halbirungspunkten der Gegenseiten gezogenen Linien (Transversalen), auf eine Nadelspitze gestellt, ruhen. Bei einem solchen Dreieck liegt der Schwerpunkt in der Transversale, $\frac{1}{3}$ derselben von der Grundlinie entfernt. Durch Theilung jeder geradlinigen Figur in Dreiecke und Anwendung der Hebelgesetze findet man den Schwerpunkt einer solchen Figur. Bei einer dreiseitigen Pyramide, desgleichen beim Kegel befindet sich der Schwerpunkt in der Linie, welche man von der Spitze nach dem Schwerpunkt der Grundfläche zieht, um $\frac{1}{4}$ dieser Linie von der Grundfläche entfernt: doch immer unter der Voraussetzung, daß der Körper aus einer völlig gleichartigen Masse besteht. — Kugel, Prisma, Cylinder. — Durch Versuche findet man den Schwerpunkt eines Körpers, wenn man ihn mittelst eines Fadens an zwei verschiedenen Punkten aufhängt. Der Durchschnittspunkt der beiden verlängerten Fäden giebt, da sie Richtungen der Resultirenden vorstellen, den Schwerpunkt.

Die Unterstützung kann im Schwerpunkte selbst, auch senkrecht unter oder senkrecht über demselben angebracht sein, in welchem letzteren Falle man den Körper aufgehangen nennt.

Fallen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt oder Drehpunkt zusammen, wie bei einer Kreisscheibe aus homogener Masse von überall gleicher Dicke, durch deren Mittelpunkt eine Achse geht, so bleibt der Körper in jeder Lage ruhen; liegt der Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkte, wie bei einer an einem Faden hängenden Bleikugel, so bewegt sich der Körper, aus der lothrechten Lage gebracht, hin und her wie ein Pendel und kommt nach längerer oder kürzerer Zeit in

dieser lothrechten Lage, in welcher sein Schwerpunkt die möglichst tiefste Stelle einnimmt, zur Ruhe; liegt endlich der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkte, so muß der Körper, aus seiner Lage gebracht, fallen, da sein Schwerpunkt sinkt — es tritt dann unter geeigneten Umständen oft der zweite Fall ein, in welchem der Körper um den Unterstützungspunkt pendelartig schwingt.

Dieses indifferente, stabile und nicht stabile oder labile Gleichgewicht zu zeigen, eignet sich am besten eine Hebelvorrichtung mit verschiebbarem Drehpunkte. — Eine gleichmäßig gearbeitete Holzscheibe mit runden Löchern im Mittelpunkte und außerhalb desselben, und ein dazu gehörendes rundes Stäbchen von etwas kleinerem Durchmesser, als die Weite der Löcher. — Doppelscheibe mit einem Bleigewichte dazwischen außerhalb des Mittelpunktes — Rolllampe von Kardanus, der Schiffskompaß, das schwimmende Licht, der Sägemann, der schaukelnde Vogel, das schaukelnde Roß. Ein Doppelkegel auf zwei divergent liegende und eine schiefe Ebene bildende Leisten gelegt, scheint heraufzurollen; in der That sinkt aber der Schwerpunkt, je näher der Kegel dem breiten Ende der schiefen Ebene kommt; eben so bewegt sich ein Zylinder auf einer schiefen Ebene herauf, wenn sein Schwerpunkt außerhalb der Achse liegt. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn eine Billardkugel auf zwei Billardstäbe gelegt wird.

62. Der senkrecht unter seinem Schwerpunkt unterstützte, also im labilen Gleichgewichte sich befindende Körper fällt, sobald er oder die Unterstützung durch irgend eine äußere Veranlassung (z. B. Stoß, Luftbewegung) aus ihrer Lage kommen, nach der Seite hin, wo sich der Schwerpunkt befindet; um dieses zu verhindern, unterstützt man eine ganze Fläche um den Unterstützungspunkt. Je größer die Unterstützungsfläche ist, desto fester steht der Körper.

Auf einem Beine stehen wir weniger sicher, als auf beiden. — Wir stellen die Beine weit auseinander, wenn wir feststehen wollen. — Seeleute und Fechter stehen bei ihren Geschäften mit ausgespreizten Beinen. — Vierfüßige Thiere stehen fester, als zweifüßige. — Tische, Stühle, Bänke.

63. Der Schwerpunkt eines auf einer seiner Flächen ruhenden Körpers ist so lange als unterstützt zu betrachten, als die durch den Schwerpunkt senkrecht gezogene Linie (Falllinie oder Richtungslinie der Schwere) noch die Grundfläche trifft; fällt sie aber außerhalb derselben, so stürzt er zusammen. Je größer die unterstützende Grundfläche ist, je näher an ihr der Schwerpunkt liegt, und je größer das Gewicht des Körpers ist, desto größer ist die Sicherheit seines Standes oder seine Stabilität, weil eine desto größere Kraft beim Umwerfen desselben dazu gehört, die Richtungslinie der Schwere außerhalb der Basis zu bringen.

Ein hochbeladener Wagen wirft leichter um, als ein niedrig beladener. — Pyramiden und Kegel stehen fester, als gleich hohe Prismen und Zylinder, denn bei jenen ist der Schwerpunkt von der Grundfläche nur um $\frac{1}{4}$ der Höhe, bei diesen aber um $\frac{1}{2}$ derselben entfernt. (Aegyptischer Pyramidenbau.) Ein Degen ist auf der Spitze leichter zu balanciren, als auf dem Kopfe. — Wenn der Wagen beim Fahren umzuwerfen droht, ist es am besten, sitzen zu bleiben, denn durch das Aufstehen wird der Schwerpunkt des Ganzen gehoben. Auf den Schiffen wird der Ballast ganz unten gelegt. — Der 300′ hohe Thurm zu Pisa liegt 12′ und der 130′ hohe zu Bologna liegt 9′ über, aber beide stehen fest.

64. Es ist auf die Lage des Schwerpunktes von Einfluß, ob der Körper durchgängig von derselben Dichtigkeit ist oder nicht. Im letzteren Falle fällt er immer dem dichteren Theile näher oder gar in ihn hinein. Auch giebt es Körper, deren Schwerpunkt ganz außerhalb derselben liegt.

Stehaufmännchen, Stehaufgläser, falsche Würfel — Eimer, Ringe, Triangel.

65. So wie sich die Masse eines Körpers anders vertheilt, oder die Theile derselben ihre Lage gegen einander ändern, ändert sich auch die Lage des Schwerpunktes, was wir am deutlichsten an uns selbst beobachten können.

Beim geraden Stehen fällt der Schwerpunkt des menschlichen Körpers ungefähr in die Mitte des Unterleibes; anders aber verhält es sich beim Sitzen, Gehen, beim Hinaufsteigen einer Treppe oder eines Berges, oder beim Heruntergehen von denselben; anders, wenn man eine Last auf der Brust, als wenn man sie auf dem Rücken, auf der rechten oder linken Achsel trägt. Das Gehenlernen, Tanzen, Stelzenlaufen, Schlittschuhlaufen, Seiltanzen, Balanciren. — Federn, Stecknadeln, überhaupt leichte und kurze Körper zu balanciren, ist darum so schwer, weil man, da sie in kleineren Bogen und deshalb schneller als lange Körper fallen, nicht geschwind genug fühlt, nach welcher Seite sie fallen. Wie kann man einen Menschen setzen, daß er nicht aufstehen? wie stellen, daß er auf einem Beine nicht stehen, und wie stellen, daß er mit seinen Händen etwas vor sich Liegendes nicht aufheben kann? Da der Schwerpunkt eines Gewehres nicht in der Mitte seiner Länge, sondern in der Kolbenhälfte liegt, so hat die Last, wenn wir es am Laufe halten, von dem Drehpunkte, dem Elbogen, eine größere Entfernung, als wenn wir es am Kolben halten; erfordert also dort eine größere Kraftanstrengung, als hier. (§ 49.)

4. Von dem freien Falle der Körper.

66. Wenn eine momentan wirkende Kraft einen Körper in Bewegung setzt, gleichsam durch einen einzigen Stoß, sodann aber auf ihn zu wirken aufhört, so nimmt er nach dem Beharrungsvermögen (§ 28) eine gleichförmige Bewegung an; wirkt aber eine an Stärke sich gleichbleibende Kraft ununterbrochen in der Richtung seiner Bewegung auf ihn so lange, als er sich bewegt, so muß seine Bewegung eine gleichmäßig beschleunigte werden. Eine solche mit gleicher Stärke ununterbrochen fortwirkende oder stetig wirkende Kraft ist die Erdschwere, da man wohl annehmen kann, daß sie bei den im Ganzen geringen Höhen (§ 72), von welchen Körper auf unsere Erde gewöhnlich herabfallen, sich an Stärke an allen Stellen gleichbleibt. Die Bewegung eines frei fallenden Körpers ist daher eine gleichmäßig beschleunigte. Die in folgenden Paragraphen enthaltenen vier Hauptgesetze des freien Falles der Körper lehrte zuerst Galilei (1564 bis 1642).

67. Die Räume vom Anfange des Falles an gerechnet, oder die Räume der ganzen Zeiten nehmen zu, wie die

Quadrate der Zeiten, also wie 1, 4, 9, 16 u. s. w., d. h. ein Körper fällt in zwei Sekunden durch einen vier Mal, in drei Sekunden durch einen neun Mal, in vier Sekunden durch einen sechzehn Mal so großen Raum u. s. w. als in der ersten Sekunde; also bei uns, wo der Fallraum der ersten Sekunde ungefähr 15′ (eigentlich $15^5/_8$′) beträgt,

in 1 Sekunde 1 . 15 = 15,
in 2 Sekunden 4 . 15 = 60,
in 3 Sekunden 9 . 15 = 135 Fuß u. s. w.

Heißt der Fallraum der ersten Sekunde allgemein g, so durchfällt ein frei fallender Körper in 1, 2, 3, 4 . . . t Sekunden die Räume g, 4g, 9g, 16g . . . $t^2g = gt^2$. Bezeichnet h den Fallraum von t Sekunden, so ist: $h = gt^2$ und $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$. Wie findet man also die Fallhöhe aus der beobachtenden Fallzeit, und wie diese aus der gegebenen Fallhöhe, wenn in beiden Fällen auch der Fallraum der ersten Sekunde bekannt ist?

Wie hoch ist ein Thurm, wenn von dessen Gipfel bis zur Erde ein Stein in 5 Sekunden fällt? und wie tief ein Brunnen, wenn man einen Stein in 2 Sekunden, von dem Augenblicke an gerechnet, wo man ihn aus der Hand läßt, auf das Wasser aufschlagen sieht? (375′, 60′.) In welcher Zeit würde ein Körper durch eine Höhe von 540′ fallen? (in 6 Sekunden.) —

Obiges Gesetz kann so bewiesen werden. Theilt man eine Sekunde in n unendlich viele, also unendlich kleine Zeittheilchen = a, und denkt sich, daß die Schwere auf den fallenden Körper in jedem Zeittheilchen von neuem in unveränderter Stärke, gleichsam stoßend, wirkt, so daß der Körper seine Geschwindigkeit in jedem Zeittheilchen a um den Weg w vermehrt, so legt er in dem

1sten a den Weg — — — = w zurück,
2ten a durch das Beharrungsvermögen w, durch die neue Einwirkung der Schwere auch w, also zusammen 2w zurück,
3ten a durch das Beharrungsvermögen 2w, durch die neue Einwirkung der Schwere w, also = 3w u. s. w.,

also in dem letzten a der Sekunde oder dem

nten a — — $(n-1)\,w + w = nw$.

Gehen wir in die zweite Sekunde über, so legt der Körper in dem

1sten a derselben oder dem $(n+1)$ ten a vom Anfange an $nw + w = (n+1)\,w$,
2ten a derselben oder dem $(n+2)$ ten a vom Anfange an $(n+1)\,w + w = (n+2)\,w$,
nten a derselben oder dem $(n+n)$ ten = 2n ten a überhaupt $(2n-1)\,w + w = 2nw$,

also in dem

nten a = nw,
2nten a = 2nw,
3nten a = 3nw, überhaupt in dem
Tnten a = $Tnw = nTw$,
tnten a = $tnw = ntw$.

Ist nun H der Fallraum für die Zeit T, so wie h der Fallraum für die Zeit t, so ist:

$$H = w + 2w + 3w \dots nTw = w(1 + 2 + 3 \dots nT) = w(1 + nT) \cdot \frac{nT}{2} \text{ *) und}$$

$$h = w + 2w + 3w \dots ntw = w(1 + nt) \cdot \frac{nt}{2} \text{ mithin}$$

$$H : h = w(1 + nT) \cdot \frac{nT}{2} : w(1 + nt) \frac{nt}{2} = (1 + nT) \cdot T : (1 + nt) \cdot t$$

$$H : h = \frac{1 + nT}{n} \cdot T : \frac{1 + nt}{n} \cdot t = \left(\frac{1}{n} + T\right) T : \left(\frac{1}{n} + t\right) t;$$

und da $\frac{1}{n}$ außerordentlich klein ist:

$H : h = T \cdot T : t \cdot t = T^2 : t^2$, d. h. die Fallräume der ganzen Zeiten verhalten sich zu einander wie die Quadrate der Zeiten.

$T = 1$ und H in der ersten Sekunde $= g$ gesetzt, giebt: $g : h = 1 : t^2$, und hieraus folgt $h = gt^2$.

68. Die Räume der einzelnen Zeiten nehmen zu, wie die ungeraden Zahlen, also wie 1, 3, 5, 7 u. s. w, d. h. ein frei fallender Körper fällt in der zweiten Sekunde seines Falles durch einen drei Mal, in der dritten Sekunde durch einen fünf Mal so großen Raum, als in der ersten Sekunde u. s. w., also in jeder Sekunde um den doppelten Fallraum der ersten Sekunde mehr als in der vorhergehenden; überhaupt in jeder Sekunde so oft Mal den Fallraum der ersten Sekunde, als es die durch sie bezeichnete ungerade Zahl angiebt: also bei uns:

in der 1sten Sekunde — 1 . 15 = 15,
— 2ten — — 3 . 15 = 45,
— 3ten — — 5 . 15 = 75 Fuß u. s. w.

Bezeichnet man mit g wieder allgemein den Fallraum der ersten Sekunde, so durchfällt ein frei fallender Körper in der 1sten, 2ten, 3ten . . . tten Sekunde die Räume $g = (2 \cdot 1 - 1)\,g$, $3g = (2 \cdot 2 - 1)\,g$, $5g = (2 \cdot 3 - 1)\,g \dots (2t - 1)\,g$.

Wie groß ist der Raum, den ein frei fallender Körper in der 4ten, 7ten rc. Sekunde seines Falles zurücklegt? (105′, 195′.)

Dieses zweite Gesetz folgt aus dem ersten (§ 67); denn der Fallraum der zweiten Sekunde ist gleich dem Fallraume zweier Sekunden weniger dem der ersten ($4g - g = 3g$); eben so der Fallraum der dritten Sekunde gleich dem Fallraume dreier Sekunden weniger dem zweier Sekunden ($9g - 4g = 5g$) — überhaupt der Fallraum der tten Sekunde gleich dem Fallraume von tSekunden weniger dem von $(t - 1)$ Sekunden; also $gt^2 - g\,(t - 1)^2 = gt^2 - gt^2 + 2gt - g = (2t - 1)\,g$.

69. Die Endgeschwindigkeiten nehmen zu, wie die Zeiten, oder wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3 u. s. w., d. h. die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers ist zu Ende der zweiten Sekunde zwei Mal, zu Ende der dritten Sekunde drei Mal

---

*) Siehe die Progressionslehre in meiner Buchstabenrechnung und Algebra nach.

so groß, als zu Ende der ersten Sekunde u. s. w. Nun ist aber die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde gleich dem doppelten Fallraume der ersten Sekunde $= 2g$, denn der Fallraum der zweiten Sekunde $= 3g$ ist hervorgebracht durch die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde oder durch das Beharrungsvermögen und durch die neue Wirkung der Schwere in der zweiten Sekunde, welche wie in jeder Sekunde $= g$ ist; es ist also die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde $3g - g = 2g$, bei uns $3 . 15 - 15 = 30'$ und hiernach sind also die Endgeschwindigkeiten der ersten, zweiten ꝛc. tten Sekunde in derselben Ordnung:

allgemein ausgedrückt $2g, 4g, 6g \ldots\ldots t . 2g = 2gt$.
bei uns $30, 60, 90 \ldots\ldots t . 30 = 30t$.

Die Endgeschwindigkeit der zweiten Sekunde ist 60′, heißt aber: wenn der Körper mit der zu Ende der zweiten Sekunde durch den freien Fall erlangten Geschwindigkeit gleichförmig sich fortbewegen könnte, so würde er in jeder Sekunde 60′ zurücklegen u. s. w.

Das Gesetz läßt sich allgemein so darthun:

Der Weg in dem ntten a ist $= ntw$ (§ 67),
— — — — nTten a — $= nTw$.

Würde nun die Einwirkung der Schwere nach nt und nT Zeittheilchen oder nach t und T Sekunden aufhören, so müßten die Körper mit den erlangten Geschwindigkeiten gleichmäßig fortgehen, also in jedem nten Theile der Sekunde im ersten Falle ntw, im zweiten nTw zurücklegen, mithin in einer ganzen Sekunde im ersten Falle $n . ntw = n^2tw$, im zweiten $n . nTw = n^2Tw$. Heißen die Geschwindigkeiten c und C, so wäre hiernach:

$$C : c = n^2Tw : n^2tw, \text{ oder } C : c = T : t,$$

d. h. die Endgeschwindigkeiten verhalten sich zu einander wie die Zeiten.

$T = 1$; also $C = 2g$ gesetzt, giebt

$$2g : c = 1 : t; \text{ also } c = 2gt \text{ und hieraus } t = \frac{c}{2g}.$$

Mit welcher Geschwindigkeit trifft ein frei fallender Körper die Erde, wenn er 5 Sekunden lang gefallen ist? (150′.) Wie lange ist ein Körper gefallen, wenn er mit der Geschwindigkeit von 180′ auffällt? (6 Sekunden.)

70. **Wenn ein frei fallender Körper mit der Geschwindigkeit, welche er nach einer bestimmten Zeit erlangt hat, gleichförmig fortgehen könnte, so würde er in einer der Fallzeit gleichen Zeit einen doppelt so großen Raum zurücklegen, als der ganze Fallraum beträgt.**

Der Fallraum von z. B. 4 Sekunden ist $4^2 . 15' = 16' . 15' = 240'$.

Die Endgeschwindigkeit der 4ten Sekunde ist $4 . 30' = 120'$, und mit der Geschwindigkeit von 120′ sich gleichförmig bewegend, legt ein Körper in 4 Sekunden $4 . 120' = 480'$ zurück, aber $480' = 2 . 240'$, oder allgemein: der Fallraum von t Sekunden ist gt^2, die Endgeschwindigkeit der tten Sekunde $= 2gt$; bewegt sich nun ein Körper gleichförmig mit der Geschwindigkeit $2gt$ durch t Sekunden, so beträgt der zurückgelegte Raum $2gt^2$, was das Doppelte von gt^2 ist.

Die Hauptformeln sind hier also:

$$1)\ h = gt^2, \text{ woraus folgt } 2)\ t = \sqrt{\frac{h}{g}}$$

$$3)\ c = 2gt \quad — \quad — \quad 4)\ t = \frac{c}{2g}$$

(4) in (1) substituirt giebt 5) $h = g \cdot \frac{c^2}{4g^2} = \frac{c^2}{4g}$

(2) in (3) — — 6) $c = 2g \cdot \sqrt{\frac{h}{g}} = 2\sqrt{gh}$.

Diese Formeln zeigen, daß man jede von den drei Größen h, c und t aus jeder der beiden anderen mit Zuziehung des bekannten Fallraumes g der ersten Sekunde bestimmen kann, weshalb auch für jede dieser Größen zwei Ausdrücke da sind.

71. Bei diesen Gesetzen ist der Widerstand der Luft ganz unberücksichtigt gelassen; er hält den fallenden Körper auf, macht also, daß er später zur Erde fällt, als er im luftleeren Raume fallen würde; weshalb die Formel gt^2 die Fallhöhe auch etwas größer angiebt, als sie wirklich ist. Der Widerstand der Luft steht im geraden Verhältnisse des Volumens, und im umgekehrten der Masse des fallenden Körpers; zu Fallversuchen sind daher kleine, möglichst dichte Körper zu nehmen.

Atwoot'sche Fallmaschine.

72. Nach dem Newton'schen Gesetze muß die Schwere mit der Entfernung von der Erde abnehmen, so wie sie auch auf der Erde selbst von den beiden Polen nach dem Aequator zu abnimmt; theils nach jenem Gesetze, weil die Körper auf dem Aequator vom Mittelpunkte entfernter sind, als an den Polen, theils in Folge der durch die Achsenbewegung der Erde entstehenden Schwungkraft (§ 78), welche, wiewohl überall der Schwerkraft entgegenwirkend, doch an Stärke vom Aequator nach den Polen zu abnehmen muß, da die Erdpunkte in dieser Richtung in immer kleineren Kreisen schwingen, außerdem dabei aber am Aequator die stets im Schwingungskreise wirkende Schwungkraft der stets längs der Erdradien thätigen Schwerkraft in derselben Linie, also in voller Stärke, nach den Polen zu aber unter immer größeren Winkeln, also immer schwächer, entgegenwirkt (§ 40)*). Je höher wir uns also in der Atmosphäre denken, desto kleiner als 15′ ist der Fallraum der ersten Sekunde; so wie er an den Polen größer, am Aequator aber kleiner, als 15′ sein muß. Bei uns in den mittleren geographischen Breiten ist die Schwere etwa um $^1/_{300}$ größer, als am Aequator.

Nach § 25 wird ein Körper in der Entfernung des Mondes von der Erde $60^2 = 3600$ Mal schwächer angezogen, als die Körper auf ihrer Oberfläche; ein Körper würde also in jener Entfernung nach der Erde zu in der ersten Sekunde nicht 15′, sondern nur $^{15}/_{3600}$ fallen, in einer Minute oder sechzig Sekunden also $60^2 \cdot {}^{15}/_{3600} = 15'$, d. h. in der Entfernung des Mondes ist der Fallraum eines Körpers in einer ganzen Minute erst so groß, als bei uns in einer Sekunde. Ueber die Bestimmung des Fallraumes der ersten Sekunde siehe § 99.

5. Von der Wurfbewegung.

73. Auf einen geworfenen Körper wirken immer zwei Kräfte: die Wurfkraft, als augenblicklich wirkender Stoß oder als momen=

*) Vergleiche: Mathematische Geographie § 25 und 26.

tane Kraft, und die Schwerkraft als stetig wirkende oder kontinuirliche Kraft. Die Richtungen dieser Kräfte fallen entweder in eine und dieselbe gerade Linie (§ 66), oder sie bilden einen Winkel mit einander. Im ersten Falle können die Kräfte nach derselben oder nach entgegengesetzten Gegenden wirken, wie bei einem senkrecht herabwärts und einem senkrecht hinaufwärts geworfenen Körper. Im zweiten Falle können die Richtungen einen rechten, stumpfen oder spitzen Winkel mit einander bilden, wie bei einem horizontal, schief aufwärts und schief herabwärts geworfenen Körper.

74. Wird ein Körper senkrecht herabwärts geworfen, so findet man die Räume, die er in den bestimmten Zeiten zurücklegt, indem man zu den vermöge der Schwerkraft zurückgelegten Räumen (§§ 67 und 68) noch die, welche er durch die Wurfkraft fällt, hinzu addirt; giebt z. B. die Wurfkraft dem Körper eine Geschwindigkeit von 10′, so fällt er:

in der 1sten Sekunde $1 . 15 + 10 = 25'$
— 2ten — $3 . 15 + 10 = 55'$
— 3ten — $5 . 15 + 10 = 85'$ u. s. w.,

überhaupt, wenn G die der Wurfkraft entsprechende Geschwindigkeit ist, in der tten Sekunde $(2t - 1)\,g + G$,

also:

in 2 Sekunden $4 . 15 + 2 . 10 = 80'$
— 3 — $9 . 15 + 3 . 10 = 165'$; überhaupt:
— t — $gt^2 + Gt = t\,(gt + G)$.

Einen senkrecht aufwärts geworfenen Körper zieht die Schwere in der ersten Sekunde 15′, in der zweiten 3 . 15′, in der dritten 5 . 15′ u. s. w., oder in zwei Sekunden 4 . 15′, in drei Sekunden 9 . 15′ u. s. w. herunter; ist er nun mit einer Geschwindigkeit von $150' = 10 . 15'$ senkrecht aufwärts geworfen, so steigt er nur:

in der 1sten Sekunde $10 . 15' - 1 . 15' = 9 . 15'$
— 2ten — $10 . 15' - 3 . 15' = 7 . 15'$
— 3ten — $10 . 15' - 5 . 15' = 5 . 15'$
— 4ten — $10 . 15' - 7 . 15' = 3 . 15'$
— 5ten — $10 . 15' - 9 . 15' = 1 . 15'$

und die entsprechenden Endgeschwindigkeiten sind:

die der 1sten Sekunde $10 . 15' - 2 . 15' = 8 . 15'$
— 2ten — $10 . 15' - 4 . 15' = 6 . 15'$
— 3ten — $10 . 15' - 6 . 15' = 4 . 15'$
— 4ten — $10 . 15' - 8 . 15' = 2 . 15'$
— 5ten — $10 . 15' - 10 . 15' = 0$

Zu Anfange der 6ten Sekunde fängt er wieder an herabzufallen, und gelangt in derselben Zeit zur Erde, welche er zum Aufsteigen gebraucht hat; schlägt auch mit derselben Geschwindigkeit auf, mit welcher er die Erde verließ; wie er überhaupt an denselben Punkten des Weges im Hinaufsteigen und Herabfallen dieselbe Geschwindigkeit hat.

Diese Darstellung zeigt ferner, daß die Räume der einzelnen Zeiten abnehmen, wie die ungeraden Zahlen 9, 7, 5, 3, 1, und daß wegen

$$\begin{aligned} 9 + 7 + 5 + 3 + 1 &= 25 = 5^2 \\ 7 + 5 + 3 + 1 &= 16 = 4^2 \\ 5 + 3 + 1 &= 9 = 3^2 \end{aligned} \quad\Bigg|\quad \begin{aligned} 3 + 1 &= 4 = 2^2 \\ 1 &= 1^2 \end{aligned}$$

auch die Räume der ganzen Zeiten abnehmen, wie die Quadrate der natürlichen Zahlen, wie 25, 16, 9, 4, 1, woraus folgt, daß die Bewegung des senkrecht aufwärts geworfenen Körpers genau das Entgegengesetzte von der Bewegung des frei fallenden ist. Diese ist gleichmäßig beschleunigt, jene dagegen gleichmäßig verzögert.

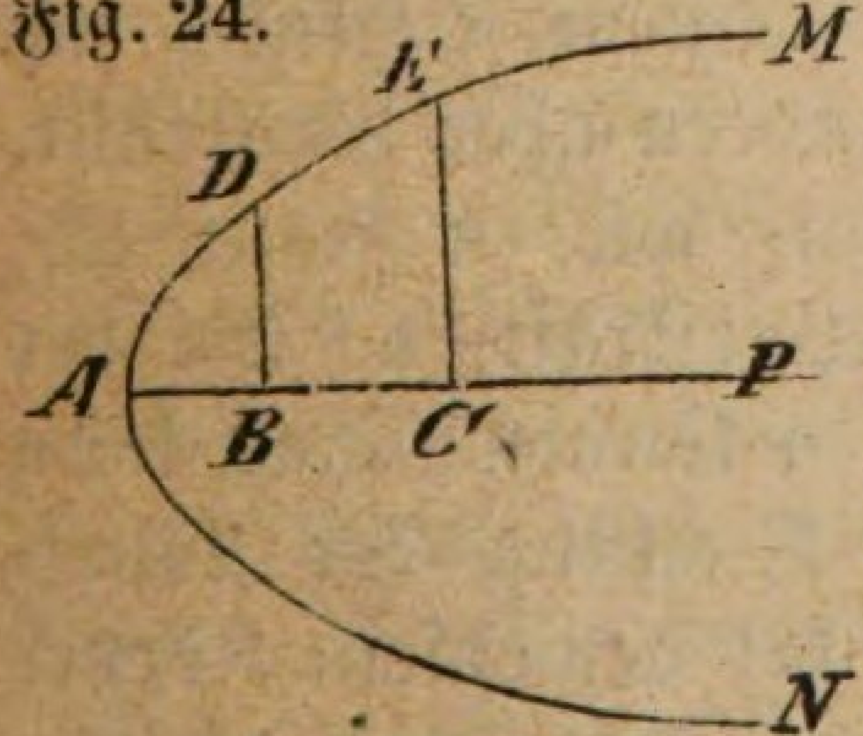
Heißt die Anfangsgeschwindigkeit des senkrecht aufwärts geworfenen Körpers c, so ist:

seine Geschwindigkeit nach t Sekunden $= c - 2gt$,
der Raum der tten Sekunde $c - (2t - 1)\,g$,
der Raum von t Sekunden $ct - gt^2$.

Ist ein senkrecht aufwärts geworfener Körper, z. B. eine senkrecht abgeschossene Kugel, t Sekunden ausgeblieben, so hat sie eine Höhe von $\left(\frac{t}{2}\right)^2 g = \frac{gt^2}{4}$ erreicht; z. B. wenn sie 8 Sekunden ausblieb, eine Höhe von 240', wenn der Widerstand der Luft ganz unbeachtet bleibt. — Prüfung der Güte des Schießpulvers mit denselben Gewehren und gleicher Ladung. Eine Kugel wird senkrecht aufwärts mit einer Geschwindigkeit von 1500' abgeschossen: wie lange und wie hoch würde sie, von der Gegenwirkung der Luft abgesehen, steigen? c oder $2gt = 1500$ oder $30t = 1500$, also $t = 50$ Sekunden; $h = \frac{c^2}{4g} = \frac{1500^2}{4\,.\,15} = 37500'$, oder auch $h = gt^2 = 15\,.\,50^2 = 37500'$ (§ 71). — Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper soll eine Höhe von 15', 60', 135' u. s. w. erreichen, wie groß muß seine Anfangsgeschwindigkeit sein? Sie muß so groß sein, wie die Endgeschwindigkeit, welche er von derselben Höhe frei fallend erreicht, also in derselben Ordnung 30', 60', 90' u. s. w.

75. Bilden die Richtungen der Wurf- und Schwerkraft einen Winkel, so wird mittelst der Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte die Bahn des geworfenen Körpers gefunden. Sie ist im luftleeren Raume, wie es Galilei (1602) zuerst bewiesen hat, eine Parabel.

Fig. 24.

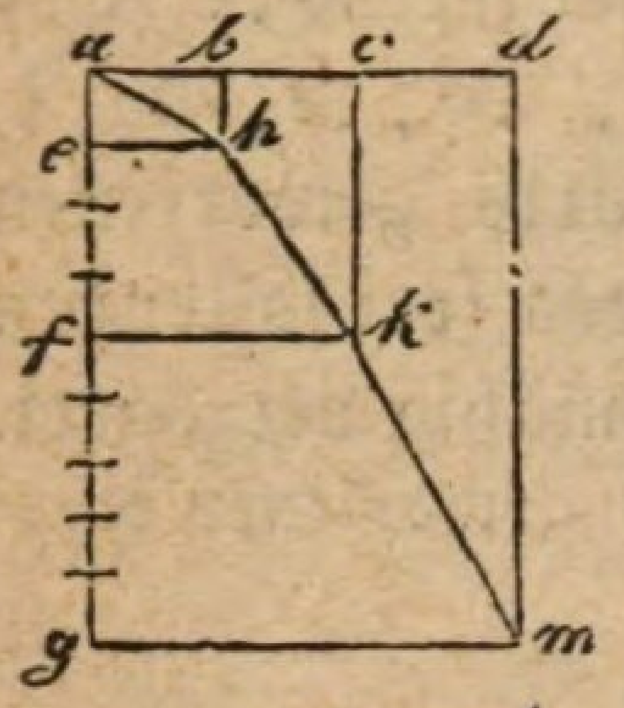


Die Parabel ist eine krumme Linie, Figur 24, welche aus zwei ganz gleichen, ins Unendliche fortgehenden Aesten (AM, AN) besteht, welche in Beziehung auf die durch den Scheitel (A) derselben gehende Achse (AP) so liegen, daß sich die Abscissen (AB, AC u. s. w.) zu einander verhalten, wie die Quadrate der zugehörigen Ordinaten (DB, EC u. s. w.). Wenn sich also jene zu einander verhalten, wie 1, 4, 9, 16 u. s. w., so müssen sich diese zu einander verhalten, wie 1, 2, 3, 4 u. s. w.

Wird ein Körper horizontal geworfen, so bilden die Richtungen der beiden thätigen Kräfte einen rechten Winkel. Der Körper würde hier vermöge der Wurfkraft in jeder Sekunde in horizontaler Richtung denselben Raum zurücklegen, vermöge der Schwerkraft aber perpendikulär herunterfallen, so daß sich die Fallräume der einzelnen

Sekunden zu einander verhielten, wie 1, 3, 5, 7 u. s. w. Trägt man nun auf einer horizontalen Linie gleiche Theile auf, die Räume, welche der Körper in den einzelnen Sekunden zurücklegen würde, wenn er blos der Wurfkraft folgte, darstellend; auf einer geraden dagegen, die auf jener horizontalen perpendikulär steht, herabwärts Theile in dem Verhältnisse der ungeraden Zahlen, die Räume darstellend, welche der Körper in den einzelnen Sekunden durchfiele, wenn die Schwerkraft allein auf ihn wirkte, so wird die Bahn des geworfenen Körpers durch wiederholte Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte, wie es die Figur 25 zeigt, gefunden. Es ist hier die Bahn des geworfenen Körpers ein Parabelast (a h k m), dessen Scheitel (a) im Wurfpunkte ist, denn:

Figur 25.

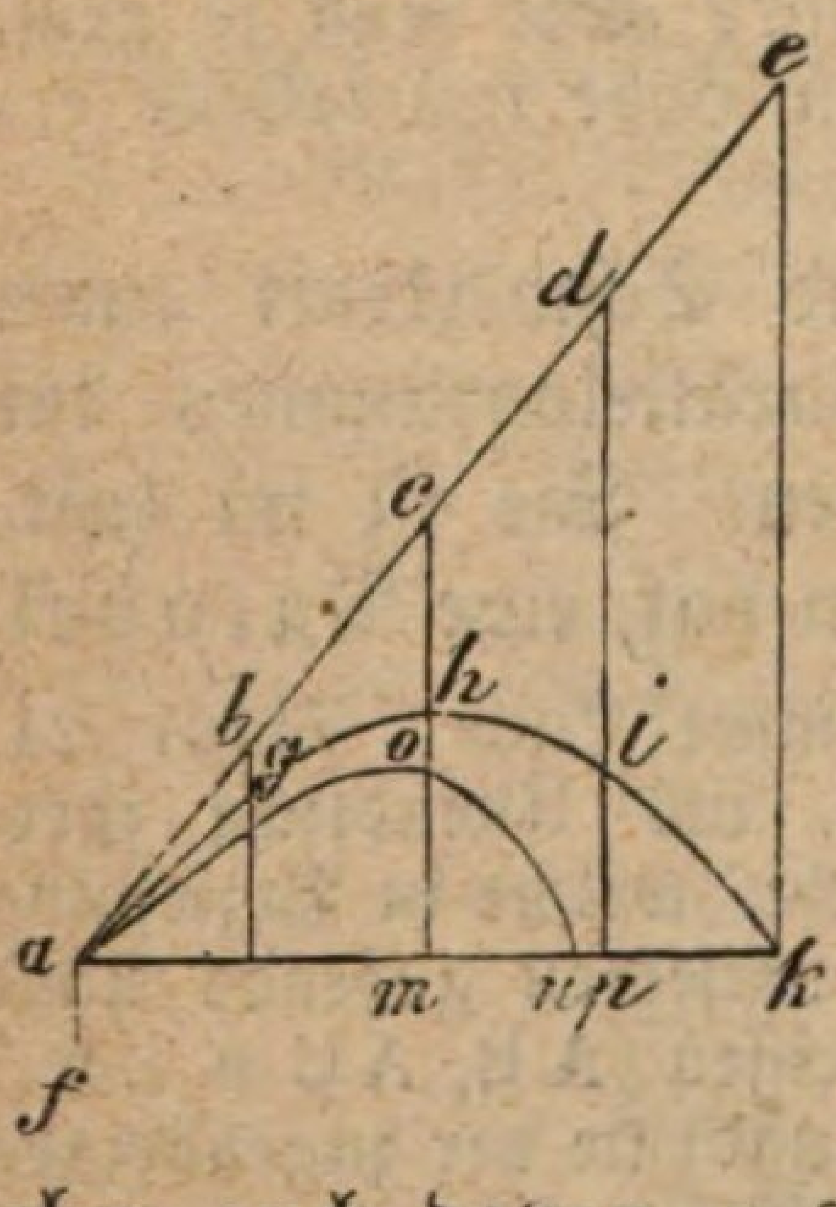


$$ae = 1,\ af = 4 . ae = 4 = 2^2,\ ag = 9 ae = 9 = 3^2,$$
$$\text{aber } eh = 1,\ fk = ac = 2 ab = 2,\ gm = ad = 3 ab = 3.$$

Aus obenstehender Figur ergeben sich auch die Folgerungen:

1) Der horizontal geworfene Körper kommt zwar nach der Seite, wohin ihn die Wurfkraft treibt, so weit, als er gekommen wäre, wenn er ihr allein folgte, befindet sich aber immer um so viel tiefer unter der ursprünglichen Wurflinie, als er in dieser Zeit frei gefallen wäre. 2) Der horizontal geworfene Körper nähert sich zwar so viel der Erde, als es geschehen wäre, wenn er der Schwere allein folgte, ist aber in jedem Augenblicke von der ursprünglichen Falllinie so weit nach der Seite, wohin die Wurfkraft wirkt, entfernt, als diese ihn in derselben Zeit gebracht hätte. 3) Ein horizontal geworfener Körper fällt in derselben Zeit zur Erde, in welcher er von derselben Höhe frei fallen würde.

Figur 26.



Einen solchen Parabelast beschreibt eine Kugel, aus einer genau horizontal liegenden Röhre abgeschossen. — Aber um einen bestimmten Punkt zu treffen, muß der Lauf des Geschützes etwas höher gerichtet werden. — Das Visir oder die Absehe und das Korn bei Gewehren.

Wird ein Körper schief in die Höhe geworfen, so ist seine Bahn eine ganze Parabel, deren Scheitel zugleich der höchste Punkt ist, welchen jener erreicht, und in deren einem Schenkel sich der Körper erhebt, in dem andern aber herabfällt. In Figur 26 hätte die Bahn, wie in Figur 25, wenn ae die Richtung der Wurfkraft, af die der Schwere ist, gezeichnet werden können; man kann aber auch davon ausgehen, daß, wenn ae die Richtung der Wurfkraft, ak eine durch a horizontal gezogene Linie ist, der geworfene Körper von seiner geradlinigen Bahn, in welcher er in jeder Sekunde denselben Raum ab = bc = cd = de, ohne Einwirkung der Schwere, zurücklegen würde, von dieser in der ersten Sekunde um bg = 15′, in zwei Sekunden um ch = 4 . 15′ u. s. w. nach der horizontalen Linie herabgezogen wird.

Ein über ein Haus geworfener Stein beschreibt eine Parabel. — Ein Wurf unter einem Winkel von 45° giebt die größte Wurfweite, was sich so zeigen läßt: Wird in Figur 26 ein Körper in der Richtung ae, welche mit dem Horizonte den Winkel eak = w (Elevationswinkel) bildet, mit der Geschwindigkeit c geworfen, und würde er, ihr allein folgend, in t Sekunden nach d gelangen, so erhält man den Punkt der Parabel, in welchem er sich, durch die Schwere herabgezogen, wirklich nach t Sekunden befindet, wenn man den Perpendikel dp zieht. Es ist dann ip die Ordinate und ap die Abscisse des Parabelpunktes i. Heißt jene y und diese x, so ist, da ad = c . t und di = g . t² (§ 70. 1),

$$x = ct \cos w \text{ und } y = ct \sin w - g \cdot t^2.$$

y ist aber = o, 1) in a, d. h. am Anfange des Wurfes oder bei t = o, 2) in k, d. h. am Ende des Wurfes, oder da, wo in dem Ausdrucke für y das $gt^2 = ct \sin w$ ist, woraus folgt:

$t = \frac{c \sin w}{g}$, was die Dauer des Wurfes angiebt, d. h. die Zeit, welche der Körper braucht, in der Parabel von a bis k zu gelangen. Die Wurfweite oder die gerade Linie ak ergiebt sich aus dem Ausdrucke für x, wenn man in derselben statt t die gefundene Dauer des Wurfes setzt; es ist dann $x = \frac{c^2 \sin w \cos w}{g} = \frac{c^2 \sin 2w}{2g}$, welcher Ausdruck den größten Werth bei unveränderter Wurfgeschwindigkeit c da erhält, wo sin 2w am größten ist; das ist aber der Fall bei 2w = 90° oder w = 45°. — Mit 283' Geschwindigkeit unter 45° geworfen, erreicht der Körper (in h, Fig. 26) eine Höhe von 666 Fuß und eine Wurfweite (ak) von 2667'. Aber bei 40° oder 50° Elevationswinkel (in beiden Fällen, weil sin 40° = cos 50° oder sin 2w hier sin 80° = sin 100°) eine Wurfweite von 2629¾'.

76. Durch den Widerstand der Luft wird die Bahn des geworfenen Körpers abgeändert, sie ist daher nicht eine Parabel, sondern die sogenannte ballistische Kurve. Der zweite Schenkel, in welchem der Körper herabfällt, ist bei einer Parabel genau gleich dem ersten, in welchem der Körper aufsteigt; bei der ballistischen Kurve dagegen ist der zweite Schenkel kürzer und steiler herabgehend, als der erste, etwa wie aon in Figur 26.

Ballistik — Artillerie.

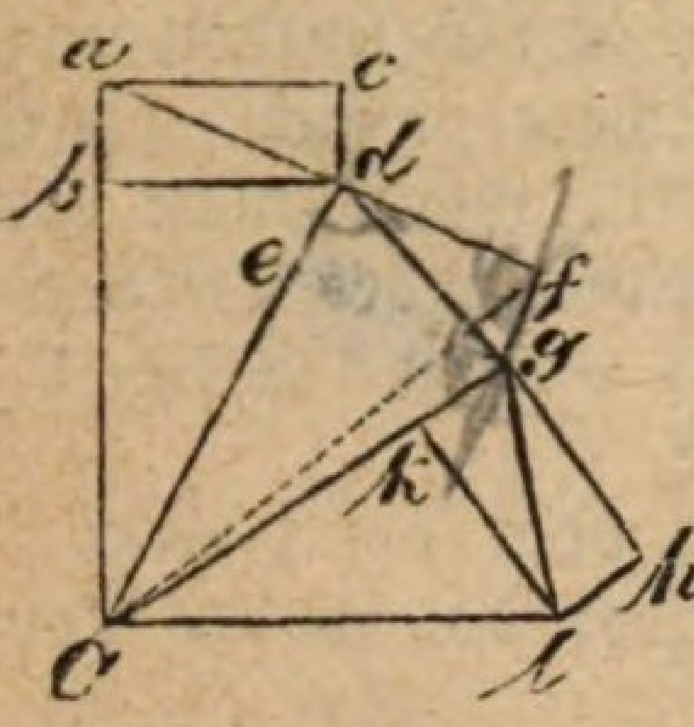
---

6. Von der Zentralbewegung.

77. Die Zentralbewegung entsteht durch zwei Kräfte, von denen die eine den Körper, wo er auch immer sei, ununterbrochen nach einem bestimmten Punkte hinzieht, die andere ihn aber gleichzeitig von diesem Punkte entfernt, indem sie ihm eine seitwärts gehende Bewegung zu geben sucht. Indem der Körper keiner von beiden ganz folgt, wird seine Bahn eine krumme Linie, die ihre hohle Seite jenem merkwürdigen Punkte zuwendet. Dieser Punkt heißt das Zentrum oder der Mittelpunkt der Bewegung, die Kräfte selbst die Zentralkräfte, und zwar die ununterbrochen nach dem Zentrum hinziehende die Zentripetalkraft, die andere aber die Tangentialkraft, weil sie den Körper an jeder Stelle der krummlinigen Bahn in der Tangente zu bewegen das Bestreben hat.

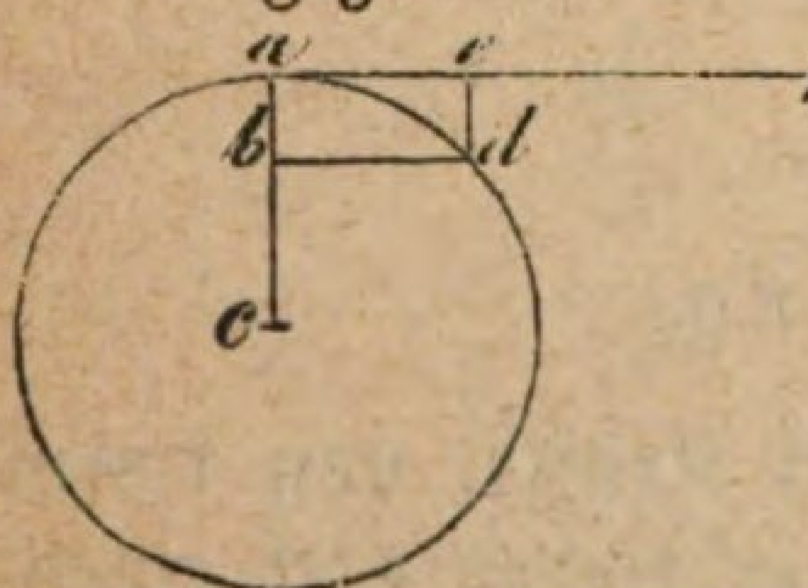
78. Daß die Bahn eines durch Zentralkräfte bewegten Körpers eine krumme Linie um den Mittelpunkt der Kräfte sein muß, läßt sich im Allgemeinen aus der Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte erweisen. Treibt in Fig. 27 die Tangentialkraft den Körper im ersten Zeittheilchen durch ac, und zieht ihn zugleich die Zentripetalkraft nach C hin durch ab, so geht er längs ad (§ 38) und erreicht zu Ende des ersten Zeittheilchens d. Von hier hat er nach dem Beharrungsgesetze das Bestreben, im zweiten Zeittheilchen durch df = ad zu gehen, wird aber auch zugleich nach C so gezogen, daß er, ihr allein folgend, den Weg de zurücklegen würde; er geht daher längs dg nach g. Von g geht er im dritten Zeittheilchen längs gl nach l, da er sowohl durch das Beharrungsvermögen, welches ihn längs gh = dg, als auch durch den Zug nach C, welcher ihn durch gk treiben will, in seiner Bewegung bestimmt wird u. s. w. Die Größe der ab, de, gk ändert sich (§ 25) nach der verschiedenen Entfernung von C. Die gebrochene Linie, welche die Bahn des Körpers vorstellt, muß in der Wirklichkeit eine krumme Linie sein, da ja die Wirkungen der Zentripetalkraft ununterbrochen, gleichsam in unendlich kleinen Zeittheilchen, stattfinden.

Figur 27.



Die Bahnen der durch Zentralkräfte bewegten Körper können nach dem Größenverhältnisse dieser Kräfte und dem Winkel, unter welchem sie wirken, verschiedene krumme Linien sein; der **Kreis** und die **Ellipse** sind für uns am merkwürdigsten. Beschreibt nun ein Körper durch Zentralkräfte eine krumme Bahn, so strebt die Tangentialkraft in Folge des Beharrungsgesetzes nicht nur ihn überall in der Tangente fortzutreiben, sondern ihn auch deshalb vom Mittelpunkte seiner Bahn zu entfernen. Die Kraft, mit welcher das Letztere geschieht, heißt **Zentrifugalkraft**, auch **Fliehkraft** oder **Schwungkraft**, welche Benennung also nur die Tangentialkraft selbst in der zweiten Wirkungsart bezeichnet. Sie ist bei der Kreisbewegung der Zentripetalkraft gleich und ihr entgegenwirkend, denn durch die gleichzeitige Einwirwirkung der Tangentialkraft ae und der Zentripetalkraft ab auf den Punkt a in Figur 28 legt dieser in einer unendlich kleinen Zeit den unendlich kleinen Bogen ad zurück, welcher als die Diagonale des Parallelogrammes abde betrachtet werden kann. Der Tangentialkraft allein folgend, befände sich der Punkt nach Verlauf dieser unendlich kleinen Zeit in e, er würde sich also ohne gleichzeitige Mitwirkung der Zentripetalkraft um ed von der Kreislinie als seiner Bahn entfernt haben, — ed giebt daher die Kraft an, welche der Zentripetalkraft entgegenwirkt und wegen ed = ab dieser auch gleich ist und sie daher aufhebt — ed stellt mithin die Zentrifugalkraft vor. Dreht sich ein Körper um eine Achse, so müssen sich hier-

Figur 28.

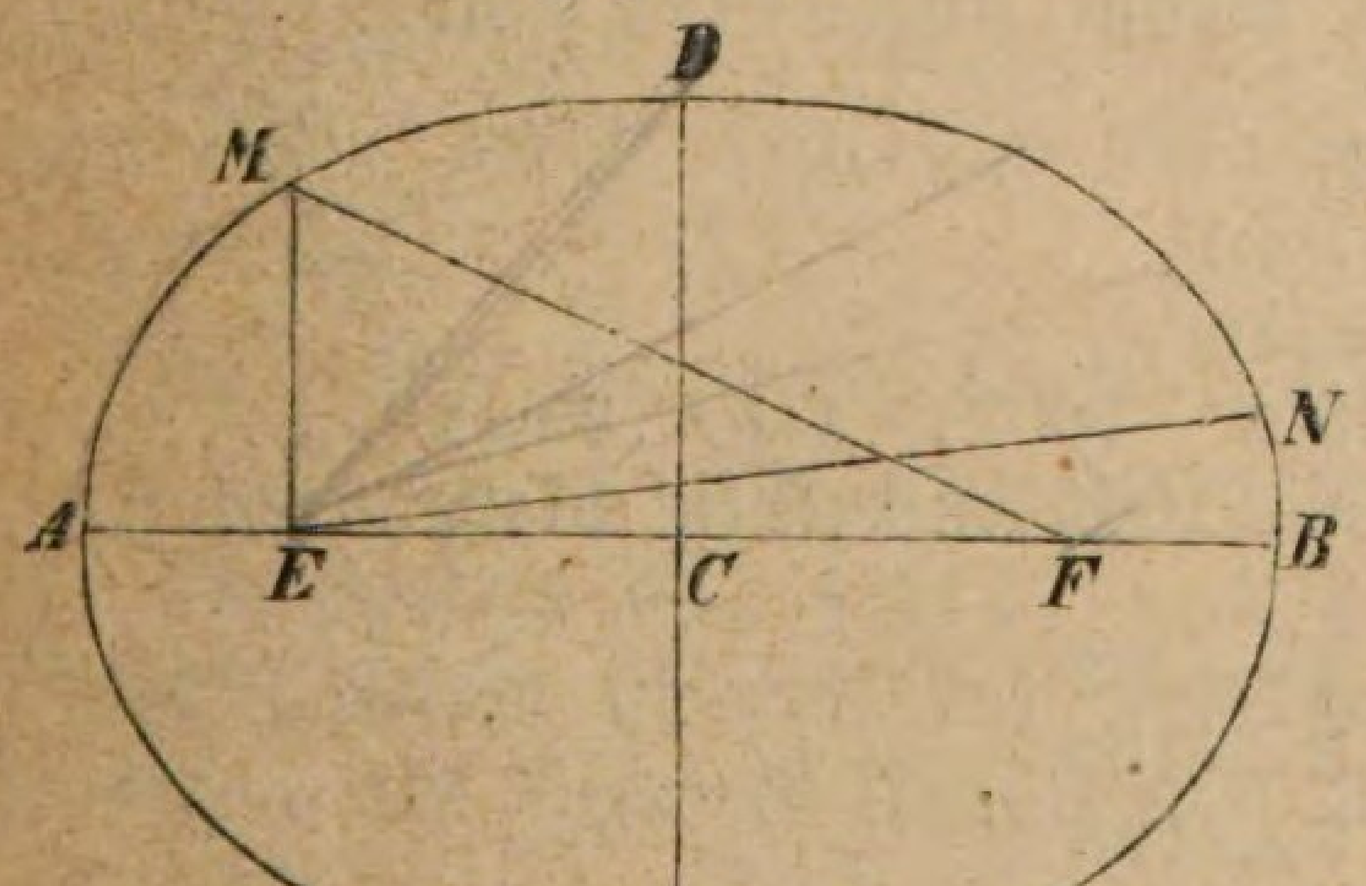


nach alle Punkte von ihr in senkrechter Richtung zu entfernen streben, was, wenn der Körper weich ist, eine Aenderung der Form — wenn er nur schwach zusammenhängende Theile hat, ein Lostrennen derselben — wenn er ein festes Ganze bildet, eine Wirkung auf die Achse nach allen Seiten zur Folge hat. Die Zugkräfte auf die Achse im letzten Falle heben sich auf, wenn die Masse des Körpers um sie herum gleichmäßig vertheilt ist.

Ein an einem Faden geschwungener Körper giebt das einfachste Beispiel von einer Zentralbewegung; die haltenden Finger sind der Mittelpunkt der Bewegung, der Faden selbst die Zentripetalkraft, und die Spannung des Fadens wird durch die Zentrifugalkraft hervorgebracht; und wenn der Faden reißt oder durchschnitten wird, treibt die Tangentialkraft den Körper in der Richtung der Tangente fort. Ein Kessel mit Wasser, beim Reifen gefaßt und im Kreise geschwungen, eben so ein Reifen mit einem Glase Wasser — die Zentrifugal-Rutschbahn — das Spritzen bewegter nasser Räder und Schleifsteine — wenn ein bewegtes Rad oder ein Mühlstein zerbricht, werden die Stücke häufig weit weggeschleudert — die Wirkung der Schleudern — Versinnlichung der Abplattung der Erde durch eine weiche Thonkugel auf der bewegten Töpferscheibe und durch den Apparat aus kreisförmigen Stahlfedern — der Regulator bei den Dampfmaschinen — das Getreide, welches durch die Oeffnung des Mühlsteines unter denselben gelangt, erhält auch die Drehung des Steines, rückt immer weiter zur Peripherie, bis es zur Oeffnung des Beutelsackes gelangt — Laufen und Reiten im Kreise erfordern eine Neigung des Körpers nach dem Mittelpunkte, um nicht durch die Zentrifugalkraft aus der Bahn geworfen zu werden — Kunstreiter, auf dem in der runden Bahn dahin rennenden Pferde stehend, haben immer eine nach dem Innern der Bahn gerichtete Stellung des Körpers; so wie man sie häufig die der Mitte der Bahn zugewendete Seite des Pferdes mit dem Körper nur gleichsam berühren und doch fortgetragen sieht — eine schnell zugeworfene Thür kann die Angeln herausreißen; so wie Hämmer, Aexte und Säbel nicht selten beim Gebrauche durch die entstandene Schwungkraft sich vom Griffe lostrennen — langsames Fahren beim Umbiegen um eine Ecke — Vermeidung starker Krümmungen bei Anlegung von Eisenbahnen — der Kreisel behält seine Achse in derjenigen Lage, welche sie zu Anfange erhalten hat, wegen der gleichen Vertheilung der Masse um die Drehachse — Bohnenberger's Maschine — Zentrifugalmaschine oder Schwungmaschine.

79. **Kepler** hat bewiesen, daß die Bahnen der Planeten Ellipsen sind. Vor ihm glaubte man, die Himmelskörper bewegten sich in Kreisen; selbst **Kopernikus** (1473 bis 1543), der Gründer des nach ihm benannten Kopernikanischen Systems, nahm noch Kreisbahnen an. Es ist hier die allgemeine Schwere oder die Gravitation (§ 25) die Zentripetalkraft; die uns unbekannte Tangentialkraft betrachten wir als den Körpern schon bei der Schöpfung mitgetheilt. Die drei berühmten Kepler'schen Gesetze sind:

Fig. 28 a.



1) Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet.

Die Ellipse (Fig. 28a) kann mechanisch so gezeichnet werden: Man nehme

einen Faden, mache seine beiden Enden fest, doch so, daß die Entfernung dieser beiden festen Punkte EF kürzer ist, als seine Länge, bringe nun an irgend eine Stelle des Fadens einen Stift, spanne ihn aus, wodurch seine beiden Theile einen Winkel bilden, und führe hierauf den Stift rings herum, wobei aber die Fadentheile immer ausgespannt bleiben müssen. Brennpunkte E und F — große Achse AB — kleine Achse DG — Mittelpunkt der Ellipse C — Sonnennähe oder Perihelium und Sonnenferne oder Aphelium (Mathem. Geogr. § 38) — Mittlere Entfernung — Radienvektoren E M, E N, F M. — Immer sind die beiden Radienvektoren aus den zwei Brennpunkten nach einem beliebigen Punkte der Ellipse zusammen gleich der großen Achse. $EM + FM = AB$. — Die Erde ist in ihrem Perihelium zur Zeit des Wintersolstitiums; im Aphelium dagegen zur Zeit des Sommersolstitiums; daher sieht nach § 153 die Sonne im Winter etwas größer als im Sommer aus (32′ 35″ — 31′ 30,6″); warum aber trotz der größeren Nähe der Sonne im Winter es kalt, und im Sommer trotz der größeren Entfernung derselben warm ist, giebt § 192 näher an.

2) **Die Radienvektoren der Planeten beschreiben Flächenräume den Zeiten proportional, oder die Radienvektoren beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.**

Der Beweis läßt sich leicht führen, wenn man in Fig. 27 noch Cf zieht:
$\triangle Cda = \triangle Cdf$, weil $ad = df$ und die Dreiecke ihre Gipfel in C haben, während ad und df eine gerade Linie bilden.
$\triangle Cdg = \triangle Cdf$, weil $Cd = Cd$ und die Gipfel f und g in der zu Cd parallelen fg liegen,
also $\triangle Cda = \triangle Cdg$. Um auf dieselbe Art weiter zu zeigen, daß $\triangle Cgl = \triangle Cdg$, müßte man noch die Ch ziehen u. s. w.

Diese Flächenräume sind immer Ellipsensektoren, d. h. solche Theile der Ellipsenfläche, die von einem Ellipsenbogen und zwei Radienvektoren begrenzt werden. — Die Planeten bewegen sich beim Perihelium am schnellsten, beim Aphelium am langsamsten, weil die zu gleichen Zeiten gehörenden Sektoren am Perihelium und Aphelium Dreiecken vergleichbar sind, von denen jener niedriger als dieser ist, und von denen daher, da sie gleich groß sind $AEM = BEN$, auch jener einen größeren Bogen zur Grundlinie als dieser haben muß. Unsere Erde bewegt sich also im Winter schneller, als im Sommer (61′ 10″ im Dezember, 57′ 11,5″ im Juni). Mittlere Geschwindigkeit.

3) **Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich zu einander, wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.**

Folgende Zahlenreihe — das Gesetz von Titius oder Bode genannt —, worin die Einheit zwei Millionen Meilen gilt, giebt die mittleren Entfernungen der bis jetzt bekannten Planeten von der Sonne annähernd an.

Merkur 4
Venus $4 + 3 = 7$
Erde $4 + 2.3 = 10$
Mars $4 + 4.3 = 16$
Ceres, Pallas, Juno, Vesta (1801—1807), $4 + 8.3 = 28$.

Das Verzeichniß der 86 von 1845 bis 1866 entdeckten Planetoiden siehe Mathem. Geogr. S. 101—103.

Jupiter $4 + 16.3 = 52$
Saturn $4 + 32.3 = 100$
(1781) Uranus $4 + 64.3 = 196$
(1846) Neptun $4 + 128.3 = 388$.

Es wird hiernach die Entfernung des $(n + 2)$ ten Planeten immer durch $4 + 2^n . 3$ oder des nten durch $4 + 2^{n-3} . 3$ ausgedrückt.

Wie würde man nun hieraus die Umlaufszeit eines jeden Planeten berechnen, mit Zuziehung der bekannten Umlaufszeit der Erde ($365\frac{1}{4}$ Tage)?

Den angegebenen Gesetzen sind nicht nur diese Planeten, welche *Hauptplaneten* heißen, unterworfen, sondern auch die *Nebenplaneten* oder *Monde*, welche die Erde (1), den Jupiter (4), den Saturn (7), den Uranus (6), und wahrscheinlich auch den Neptun bei ihrer Bewegung um die Sonne umkreisen; so wie auch die *Kometen*.

Perturbationen.

Kepler (1571—1630) folgerte diese Gesetze aus unzählig vielen Beobachtungen, die vor ihm *Tycho de Brahe* (1546—1601) gemacht hatte, und *Newton* (1642—1722) hat die Uebereinstimmung derselben mit dem von ihm aufgestellten Gesetze der Gravitation (§ 25) nachgewiesen. Vorzüglich durch Kepler und Newton hat das Kopernikanische System, die Lehre von der Einrichtung unseres Planetensystems, seine gegenwärtige Gestalt erhalten. Die ausführliche Darstellung desselben gehört in die Astronomie.

---

7. Von der schiefen Ebene, dem Keile und der Schraube.

80. Jede gegen den Horizont geneigte, oder, was dasselbe ist, jede mit der Richtung der Schwere einen schiefen Winkel bildende Ebene heißt eine *schiefe Ebene* (planum inclinatum). Den senkrechten Durchschnitt einer schiefen Ebene stellt ein rechtwinkliges Dreieck vor, dessen horizontale Kathete die *Grundlinie* oder *Basis* (b), die senkrechte die *Höhe* (h), die *Hypotenuse* die *Länge* (l), so wie der an der Basis liegende spitze Winkel der *Neigungswinkel* (e) der schiefen Ebene heißt.

81. Wenn von aller Reibung weggedacht wird, so muß ein auf eine schiefe Ebene gelegter Körper herabfallen, da der Schwerpunkt nicht unterstützt ist; er muß aber auch zugleich auf die schiefe Ebene drücken. Die Kraft, mit welcher der Körper frei fallen würde (absolute Kraft oder Schwere (a) — Normaldruck) theilt sich hier gleichsam in zwei Theile, von denen der eine den Körper nur an die schiefe Ebene andrückt (drückende Kraft (d)), der andere aber ihn auf derselben herabtreibt (respektive Kraft oder Schwere (r) — relativer Druck); jener Theil wirkt senkrecht auf die schiefe Ebene, dieser dagegen mit ihr parallel.

82. Die Hauptgesetze sind hier folgende:

1) *Die respektive Kraft verhält sich zur absoluten, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge*, d. h. die respektive Kraft ist von der absoluten immer ein so großer Theil, als die Höhe der schiefen Ebene von der Länge derselben; oder:

$$r : a = h : l, \text{ mithin } r = \frac{h}{l} . a, \text{ d. h. } —?$$

2) *Die drückende Kraft verhält sich zur absoluten, wie die Grundlinie der schiefen Ebene zu ihrer Länge;*

ein wie großer Theil ist also immer die drückende Kraft von der absoluten?

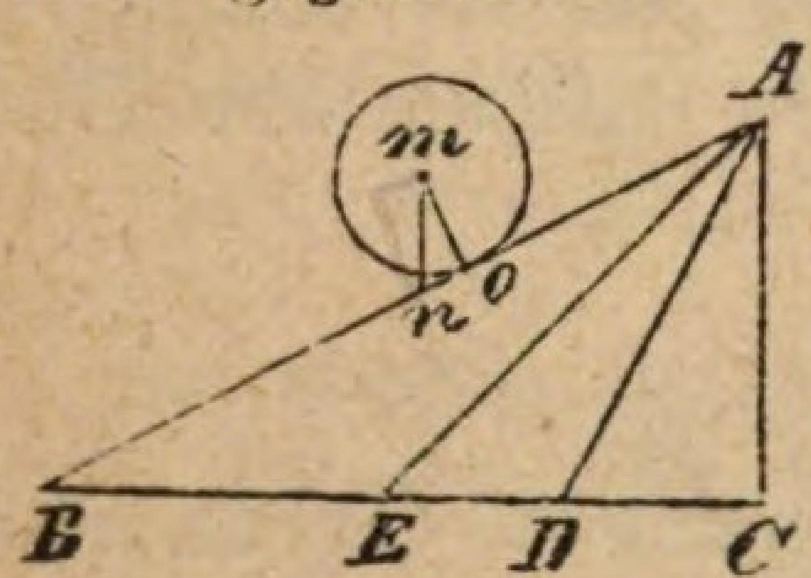
$$d:a = b:l, \text{ also } d = \frac{b}{l} \cdot a.$$

3) **Die respektive Kraft verhält sich zur drückenden, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Grundlinie.**

$$r:d = h:b, \text{ also } r = \frac{h}{b} \cdot d \text{ und } d = \frac{b}{h} \cdot r.$$

Die Länge der schiefen Ebene sei = 30′, ihre Höhe = 18′, ihre Grundlinie also $\sqrt{(900-324)} = \sqrt{576} = 24'$, ein daraufgelegter Körper wiege 90 Pfd.; mit welcher Kraft rollt er herab, und mit welcher drückt er auf die schiefe Ebene? (r = 54 Pfd., d = 72 Pfd., auch ist $54^2 + 72^2 = 90^2$).

Figur 29.



Die Richtigkeit der Gesetze läßt sich so darthun: Ist in Figur 29 m der Schwerpunkt des Körpers auf der schiefen Ebene, stellt mn den Normaldruck oder das Gewicht des Körpers dar (a), so läßt sich § 39 mn als eine auf die AB schief wirkende Kraft zerlegen in mo, senkrecht auf sie, und in no, parallel wirkend mit ihr; mo stellt nun die drückende Kraft vor, die durch den Widerstand der Ebene aufgehoben wird; die no das relative Gewicht oder die respektive Kraft, die das Fallen des Körpers auf der schiefen Ebene allein bewirkt. Nun ist $\triangle mno \sim \triangle ABC$, da mon = C = R und mno = BAC, da AC ∥ mn ist,

$$\text{also } no:mn = AC:AB,$$

$$r:a = h:l; \text{ oder auch } r:a = \sin e:1,$$

$$\text{also } r = \frac{h}{l} \cdot a; \text{ oder } r = a \sin e.$$

Ebenso findet man aus $AB:BC = mn:mo = a:d$

$$d = \frac{b}{l} \cdot a \text{ oder } d = a \cdot \cos e$$

und die dritte Proportion durch Zusammensetzung der beiden ersten, oder auch durch Betrachtung der ähnlichen Dreiecke.

83. Aus dem ersten Gesetze folgt, daß die Bewegung auf der schiefen Ebene, so wie die des freien Falles, eine gleichmäßig beschleunigte ist, nur eine langsamere, und zwar eine desto langsamere, ein je kleinerer Theil die Höhe von der Länge oder je kleiner der Neigungswinkel e ist. Die Schwerkraft nämlich, die Länge und die Höhe irgend einer schiefen Ebene, sind für jeden Punkt dieser schiefen Ebene unveränderliche Größen, es muß daher auch das vierte Glied der Proportion, die respektive Kraft, einen unveränderlichen Werth haben. Die Gesetze des freien Falles finden daher auf den Fall der Körper auf der schiefen Ebene ihre Anwendung; es kommt dabei nur darauf an, für jede schiefe Ebene die **Beschleunigung**, d. i. den Fallraum der ersten Sekunde, zu finden.

Galilei wurde auf seine berühmten Fallgesetze zunächst durch Versuche an einer schiefen Ebene geführt.

84. **Die Beschleunigung des Falles auf der schiefen Ebene (G) verhält sich zu der des freien Falles (g), wie die Höhe der schiefen Ebene zu der Länge derselben, d. h.** der sovielte Theil die Höhe von der Länge ist, den eben sovielten

Theil von g, bei uns von 15′, fällt der Körper auf der schiefen Ebene in der ersten Sekunde, also:

$$G : g = h : l, \text{ mithin } G = \frac{h}{l} \cdot g, \text{ bei uns} = \frac{h}{l} \cdot 15.$$

Wie viele Fuß rollt daher eine Kugel in der ersten Sekunde auf einer schiefen Ebene herab, deren Länge = 30′ und deren Höhe = 18′ ist? wie viele mithin in der 2ten, 3ten Sekunde u. s. w.? wie viele in 2, 3, 4 Sekunden u. s. w.? 9′; 3 . 9′ = 27′; 5 . 9′ = 45′ u. s. w. — 9′; 4 . 9′ = 36′; 9 . 9′ = 81 u. s. w.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich so folgern: Nach § 35 ist

$$G : g = \frac{r}{m} : \frac{a}{m} \text{ oder } G : g = r : a$$

$$\text{nach (§ 82), } h : l = r : a$$

$$\text{also } G : g = h : l.$$

$$G = g \cdot \frac{h}{l} = g \cdot \sin e,$$

woraus auch folgt, daß, wenn C, H das auf der schiefen Ebene bedeuten, was c, h beim freien Falle:

$$C = 2\,Gt = 2g \cdot \frac{h}{l} \cdot t = 2\,gt \cdot \sin e.$$

$$H = Gt^2 = g \cdot \frac{h}{l} \cdot t^2 = gt^2 \cdot \sin e.$$

85. **Ein Körper, welcher längs der ganzen Länge der schiefen Ebene fällt, erlangt dieselbe Geschwindigkeit, die er, die Höhe frei durchfallend, erhalten hätte.**

Ist die Grundlinie BC = 20′, die Höhe AC = 15′, so ist die Länge AB = 25′; die längs der Länge von 25′ herabrollende Kugel würde also die Geschwindigkeit von 30′ erlangen, weil sie durch 15′ freifallend auch dieselbe erhalten wird. Aber sie würde auch bei allen anderen nur denkbaren schiefen Ebenen von der Höhe von 15′, wie verschieden auch ihre Längen sein mögen, die Endgeschwindigkeit von 30′ erlangen; so daß sie in Figur 29 auf den schiefen Ebenen ACD, ACE, ACB mit derselben Geschwindigkeit in D, E, B ankommen würde.

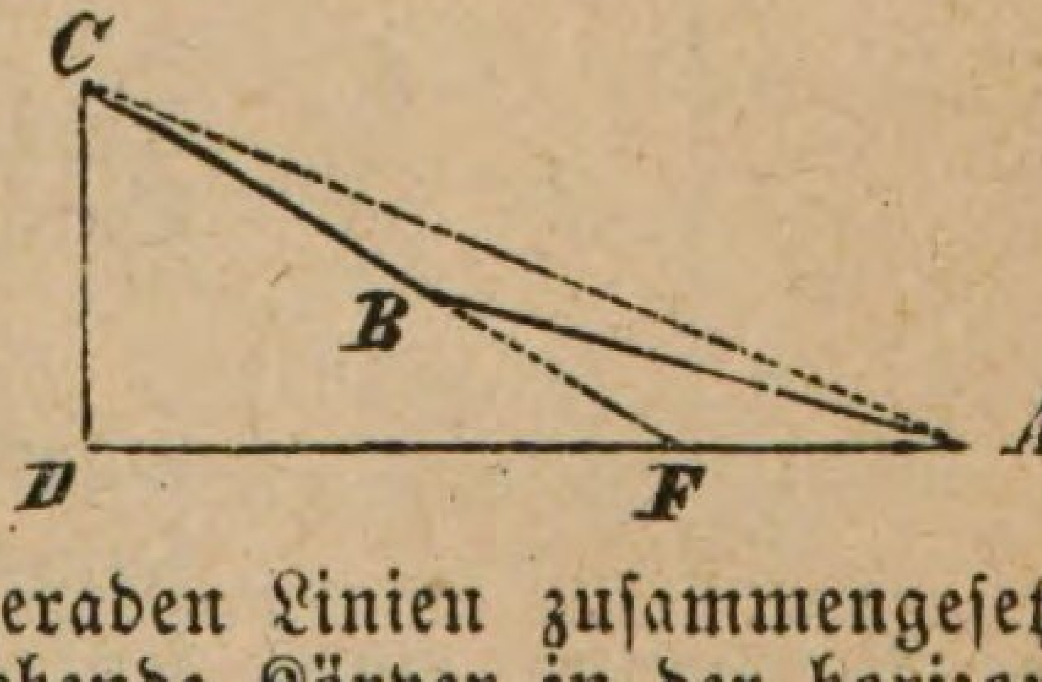
Nach § 70 ist die Geschwindigkeit überhaupt $c = 2\sqrt{gh}$, hier also:

$$C = 2\sqrt{Gl} = 2\sqrt{(g \cdot \frac{h}{l} \cdot l)} = 2\sqrt{gh}$$

$$\text{also } c = C.$$

Es seien in Fig. 30 CB und BA zwei schiefe Ebenen, welche unter dem Winkel CBA zusammenstoßen. Ein Körper, längs CA fallend, würde in A mit derselben Geschwindigkeit ankommen, wie längs CF fallend in F, nämlich mit der Geschwindigkeit in D, frei fallend durch CD. Ebenso, wenn der Körper längs CB und BA herabrollt; denn die Zunahme der Geschwindigkeit auf dem Wege BA ist, wie oben bewiesen, eben so groß, als auf dem Wege BF. Desgleichen auf einem Bogen CBA, welchen man sich aus unendlich vielen, unendlich kleinen geraden Linien zusammengesetzt denken kann. Immer erlangt der von C ausgehende Körper in der horizontalen DA dieselbe Geschwindigkeit — entsprechend der Fallhöhe CD.

Figur 30.



86. **Auch verhält sich der Fallraum eines frei fallenden Körpers zu dem Fallraume auf der schiefen Ebene in**

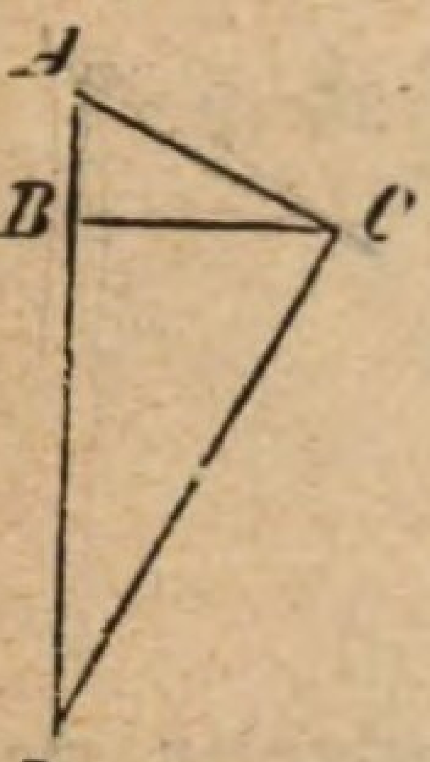
derselben Zeit, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

Nach §§ 70 und 84 ist:

$$h = gt^2 \text{ und } H = g \cdot \frac{h}{l} \cdot t^2,$$

$$\text{also } h : H = 1 : \frac{h}{l} = l : h \text{ auch} = 1 : \sin e.$$

Figur 31.



Den Weg, welchen ein Körper frei fallend zurücklegen würde, während er auf der schiefen Ebene die ganze Länge AC in Figur 31 durchfällt, findet man daher, wenn man in C auf AC einen Perpendikel errichtet und ihn verlängert, bis er in D die verlängerte Höhe AB der schiefen Ebene trifft; AD giebt diesen Weg an, weil nach geometrischen Gründen steht:

$$AD : AC = AC : AB = l : h.$$

Will man nun wissen, welchen Theil der Länge ein auf der schiefen Ebene fallender Körper zurücklegen würde in der Fallzeit durch die Höhe, so hat man nur nöthig, über der Höhe AB in

Figur 32.

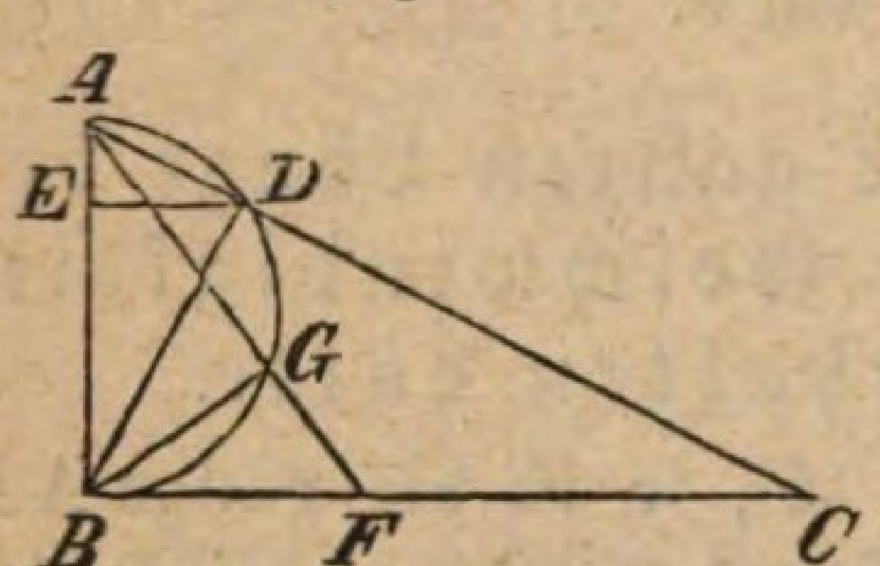
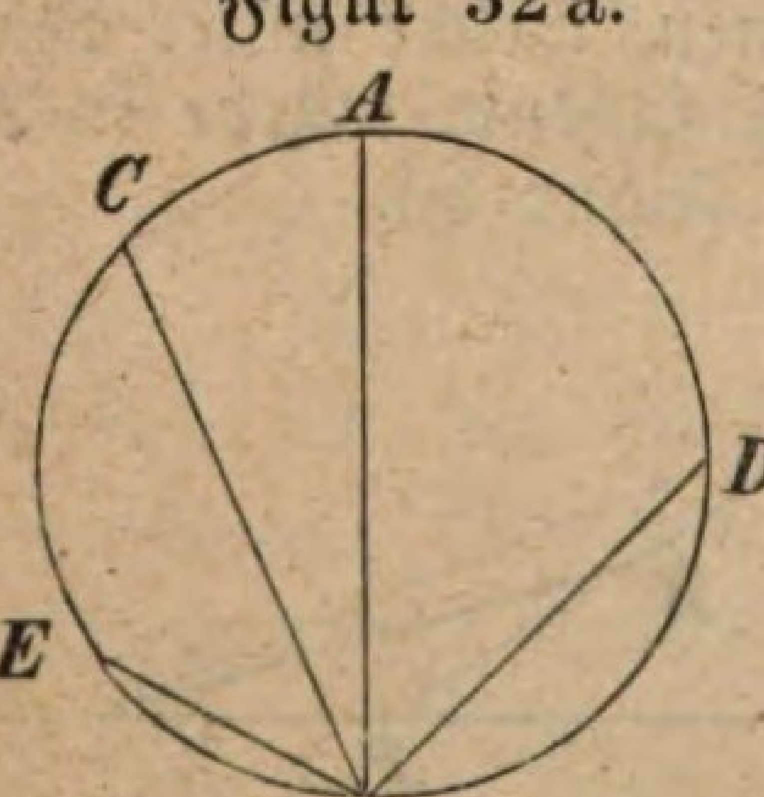


Fig. 32 einen Halbkreis zu zeichnen, der durch die Peripherie abgeschnittene Theil AD giebt diesen Weg an; denn zieht man DB und außerdem DE ⌗ BC, so hat man genau den vorigen Fall in Fig. 31. Hätte man nun eine zweite schiefe Ebene ABF mit derselben Höhe AB, so würde der Körper auf dieser schiefen Ebene den Weg AG zurücklegen, während er frei durch AB fiele. Betrachten wir nun mehrere solche schiefe Ebenen, die immer AB zu ihrer Höhe behalten, so ergiebt sich der von Galilei zuerst aufgestellte Satz: daß alle durch einen Endpunkt des senkrechten Durchmessers gehenden und als schiefe Ebenen angenommenen Sehnen in derselben Zeit durchlaufen werden, nämlich alle in der Fallzeit durch den senkrechten Durchmesser. — Ebenso werden alle in B (Fig. 32 a) zusammenlaufende Sehnen des Kreises

Figur 32a.



in derselben Zeit durchlaufen: CB, EB, DB, wie der senkrechte Durchmesser AB im freien Falle.

Welches wäre also bei uns die Fallzeit für alle Sehnen eines Kreises von 15′, 60′, 135′ u. s. w. Durchmesser?

87. Die Bewegung eines Körpers aufwärts auf einer schiefen Ebene verhält sich zu seiner Bewegung herabwärts auf derselben, wie die Bewegung eines senkrecht aufwärts geworfenen Körpers (§ 74) zu der des frei fallenden.

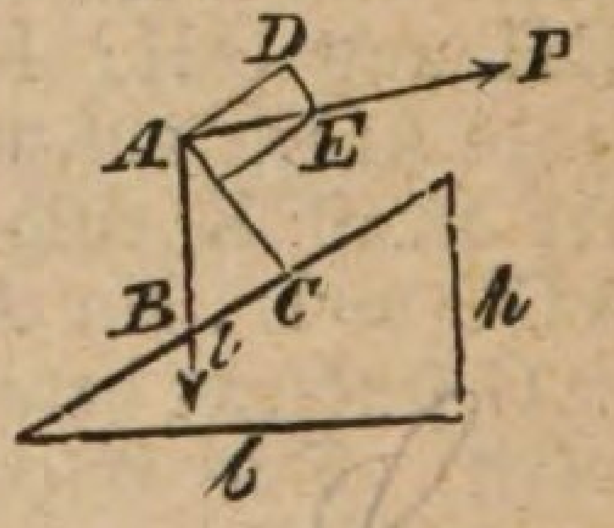
88. Die schiefe Ebene wird gebraucht, Lasten in die Höhe oder von dieser herab zu schaffen mit Ersparniß von Kraft. Da nämlich

nicht die absolute, sondern nur die respektive Kraft den Körper auf der schiefen Ebene herabtreibt, so darf auch nur, um den Körper auf ihr an jeder Stelle ruhend zu erhalten, ihm der sovielte Theil von seinem Gewichte parallel mit der schiefen Ebene entgegenwirken, als der wievielte Theil die Höhe von der Länge der schiefen Ebene ist. Um eine Last auf einer schiefen Ebene herauf zu bewegen, müßte dieses Gewicht etwas vermehrt, wie im entgegengesetzten Falle etwas vermindert werden.

Legt man auf einen Wagen von 3′ Höhe zwei mit einander durch ein Querholz verbundene Stäbe von 12′ Länge, so kann eine Last von 12, 24, 36 Ztrn. mit 3, 6, 9 Zentnern ins Gleichgewicht gesetzt werden. Eine Last, die nur vier gleich starke Männer zu heben im Stande sind, kann mittelst dieser schiefen Ebene schon einer von ihnen zu der verlangten Höhe bringen. — Schiefe Ebenen sind alle Wege, welche auf Hügel und Berge hinaufführen; bei Bauten werden häufig schiefe Ebenen angelegt, um Ziegel, Steine, Kalk 2c. heraufzuschaffen und hinabzulassen; eben so werden nicht selten Rinnen und Röhren bei Wasserleitungen zum Horizont geneigt angebracht. — Schiefe Ebenen mit Rollen und Gradbogen, um durch Versuche die Fundamentalsätze zu erweisen.

Um den Fall allgemein, ohne Rücksicht auf Reibung, zu betrachten, sei das Gewicht des Körpers = Q, dann ist das relative Gewicht = Q . sin e, wenn e den Neigungswinkel der schiefen Ebene bedeutet. Wirkt nun im Schwerpunkt A des Körpers in Figur 33 eine Kraft P entgegengesetzt unter dem Winkel x = PAC, so läßt sich P zerlegen in eine auf die Länge der schiefen Ebene senkrecht wirkende, also in AO fallende, welche nur die drückende Kraft vermehrt und in eine parallel mit der Länge längs AD, parallel l wirkende, welche = P . sin x; da Gleichgewicht sein soll, so muß Q . sin e = P . sin x,

Figur 33.



also $P = Q \cdot \frac{\sin e}{\sin x}$.

Wirkt P parallel mit l, so ist x = 90, also sin x = 1,

mithin $P = Q \cdot \sin e = Q \cdot \frac{h}{l}$, also

$P : Q = h : l$, d. h. — ?

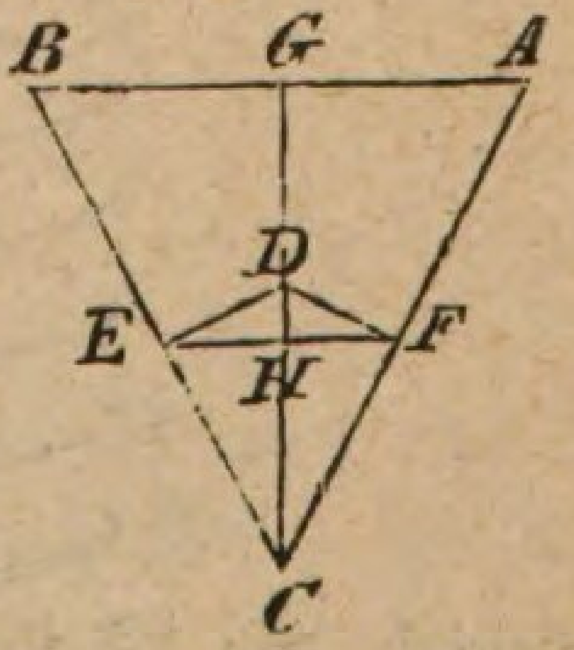
Wirkt P parallel mit b, so ist x = 90 — e, also sin x = cos e,

mithin $P = Q \cdot \frac{\sin e}{\cos e} = Q \cdot tg \cdot e = Q \cdot \frac{h}{b}$, also

$P : Q = h : b$, d. h. — ?

89. Der Keil, ein dreiseitiges Prisma, läßt sich ansehen als aus zwei schiefen Ebenen bestehend, deren Grundflächen in einander fallen. Gewöhnlich ist die Grundfläche des Keiles ein gleichschenkliches Dreieck, wie ABC in Figur 34, dessen Schenkel BC und AC die Seiten oder Seitenlinien des Keiles, und dessen dritte Seite BA der Rücken oder die Breite, so wie der Perpendikel CG die Länge des Keiles heißen. Indem die Spitze C in einen Spalt eines Körpers gebracht und auf AB eine Kraft (z. B. Schläge mit der Axt) nach C hin wirkt, bringt der Keil weiter und spaltet den Körper, dessen Theile durch Kohäsion und Elastizität dem Eindringen des Keiles entgegenwirken, welcher

Figur 34.



Widerstand hier die Last vorstellt. Es verhält sich hier, die sehr bedeutende Reibung ganz unberücksichtigt gelassen, die Kraft zur Last, wie die Breite zur Seitenlinie des Keiles = AB : AC; der Keil ist daher desto leichter irgend wohin einzutreiben, je weniger breit er ist; aber je leichter er eindringt, desto schmäler ist der Spalt, denn indem er um seine ganze Seite eingepreßt wird, treten die Körpertheile erst um die Breite seines Rückens auseinander.

Der Keil wird außer zum Spalten der Körper auch noch gebraucht, um Körper aneinander zu drücken, zum Feststellen, zum Auspressen der Flüssigkeiten, auch zum Heben der Lasten u. s. w. Messer, Beile, Aexte, Meißel, Scheeren, Nägel, Nähnadeln, Pfriemen, Schwerter, Lanzen, Degen, Säbel, Bajonnette, Pflüge, Schneidezähne, überhaupt alle Schneidewerkzeuge sind Keile.

Obiges Gesetz läßt sich so erweisen: In G (Fig. 34), senkrecht auf AB, drückt eine Kraft (K) den Keil herab, und auf BC und AC in E und F, in gleichen Entfernungen von C, wirken senkrecht in ED und FD zwei gleiche Kräfte (L und L) dem Eindringen des Keiles entgegen, so daß also dem Drucke K von oben herab entgegenwirkt ein Gegendruck von 2 L von den Seiten her. Die Richtungslinien ED und FD schneiden sich in D, in der Länge des Keiles, denn EC = CF, DEC = DFC ≐ R und ECD = DCF, folglich △ EDC ≅ △ DFC, also DC = DC und ED = DF, welche letzteren daher auch die gleichen Kräfte L und L darstellen können, welche wir jetzt als im Punkte D wirkend annehmen. Jede derselben zerlegen wir (§ 39) in eine auf CD senkrechte Kraft und eine in sie fallende, nämlich DF in HF und DH, ED in EH und DH; EH und HF heben sich als gleiche, aber entgegengesetzt wirkende Kräfte auf, während jede der beiden DH nach oben, genau entgegengesetzt der Kraft K entgegenwirkt; da nun aber DH = DF . cos CDF = DF . sin ACG = L . sin ACG, so ist 2DH = 2L . sin ACG = der Kraft, welche der in G senkrecht herabwärts wirkenden Kraft K allein senkrecht aufwärts entgegenwirkt. Das Gleichgewicht erfordert aber K = 2L . sin ACG, woraus folgt:

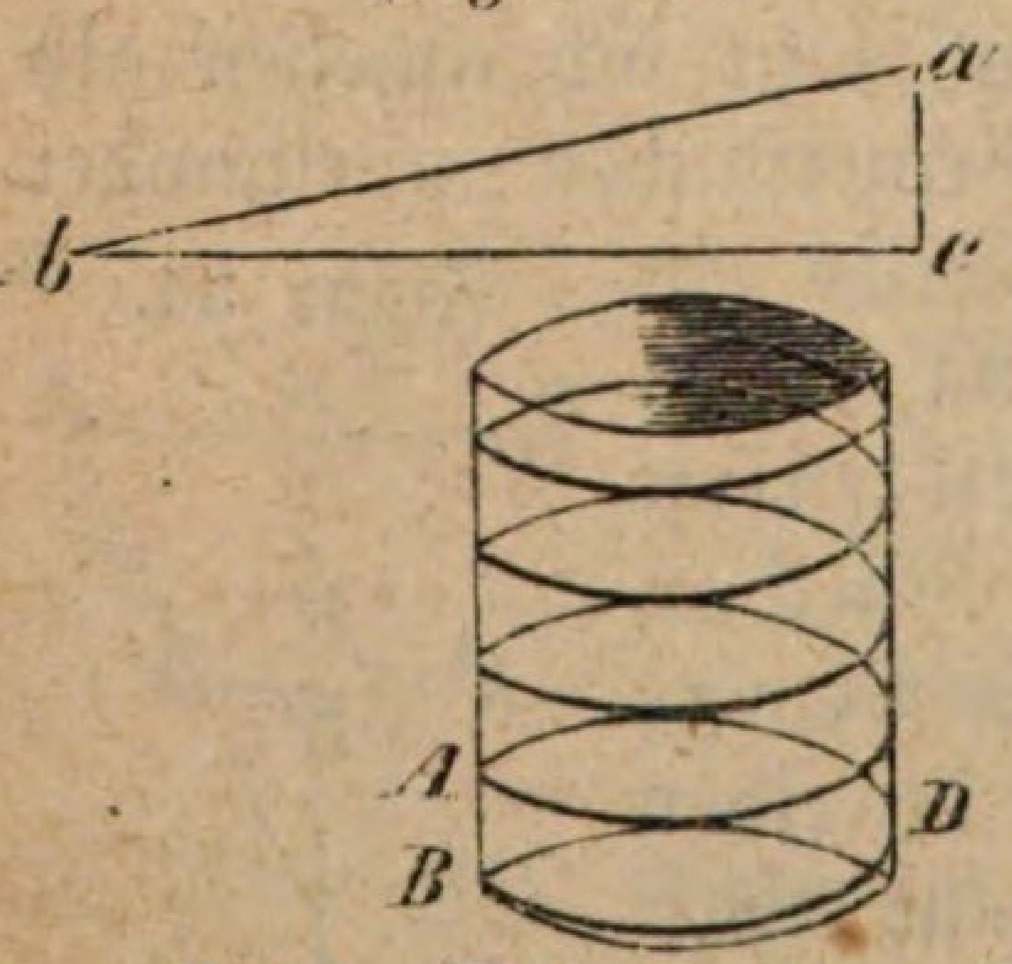
$$K : L = 2 \sin ACG : 1 = 2 \cdot \frac{GA}{AC} : 1 \text{ oder}$$

$$K : L = 2GA : AC, \text{ d. h. } K : L = AB : AC.$$

Bildet man dagegen aus K = 2L sin ACG
die Proportion K : 2L = sin ACG : 1,
so erhält man K : 2L = GA : AC
oder K : 2L = AB : 2AC } d. h. — ?

90. Eine Schraubenlinie kann man sich auf einem Zylinder so entstanden denken: Hat man in Figur 35 das rechtwinklige △ abc, dessen Grundlinie bc genau der Peripherie des Grundkreises am Zylinder gleich ist, und legt man das Dreieck so um den Zylinder, daß bc die Peripherie des Grundkreises deckt, so zieht sich die Hypotenuse ba schief um den Zylinder herauf, wie BDA, welche krumme Linie ein Schraubengang heißt. Schließt sich nun an diesen Schraubengang ein zweiter ihm ganz gleicher, an diesen ein dritter u. s. w., so entsteht dadurch die Schraubenlinie, unter deren Neigung man den Winkel abc, so wie unter der Höhe eines Schraubenganges die AB = ac versteht. Werden auf der Schraubbenlinie Hervorragungen angebracht,

Figur 35.



so erhält man die **Schraubenspindel**; werden aber auf der in einer zylindrischen Höhlung eines Körpers verzeichneten Schraubenlinie Vertiefungen angebracht, so erhält man die **Schraubenmutter**. Jene ist gleichsam eine schiefe Ebene, die um einen Zylinder herauf gewickelt ist; diese eine gleiche schiefe Ebene, welche in einen gleich großen hohlen Zylinder an dessen inneren Wänden gelegt ist. Die Schraubenspindel und die Schraubenmutter bilden die **Schraube**. Man kann sich denken, daß jeder Punkt in den erhöhten Schraubengängen der Spindel auf den vertieften Schraubengängen der Mutter, wie auf einer schiefen Ebene ruht. Wird die Reibung, die gerade bei der Schraube sehr groß ist, nicht berücksichtigt, so verhält sich hier die **Kraft zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zur Peripherie der Spindel** $= ac : bc$. Nun läßt man aber die Kraft gewöhnlich an einem Hebelsarme, welcher den Radius der Spindel mehrere Male übertrifft, wirken; es wird daher die nach dem eben angegebenen Gesetze zum Gleichgewichte nöthige Kraft noch so viele Male verkleinert, als oft der Hebelsarm den Radius der Spindel übertrifft, d. h. beim Gebrauche des Hebelsarmes verhält sich die **Kraft zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zur Peripherie, deren Radius der Hebelsarm ist**. Die Kraftersparniß ist also bei der Schraube sehr bedeutend, daher bewegt sich aber auch die Last sehr langsam, da sie bei jeder Umdrehung nur um die Höhe des Schraubenganges fortrückt.

Buchbinderpressen, Buchdruckerpressen, Weinpressen, Oelpressen, Münzpressen, Mikrometer-Schraube — Anwendung der Schraube bei den sogenannten Schraubenschiffen; sie besteht nur aus zwei halben Schraubengängen, liegt in der Mitte des Schiffes vor dem Steuerruder und wird durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt. Der Widerstand des Wassers vertritt die Stelle der Schraubenmutter.

Das Hauptgesetz kann so abgeleitet werden: Es bedeute r den Radius der Spindel, also $2r\pi = bc$ gleich der Grundlinie des erzeugenden Dreiecks, und $h = ac$ bedeute die Höhe des Dreiecks oder die Höhe des Schraubenganges. Die Last vertheilt sich auf alle Schraubengänge gleichförmig, giebt es also deren n, so wirkt auf jeden $\frac{1}{n}$ L; wirkt nun K an der Peripherie der Spindel horizontal, so hat man den Fall, wo die Kraft bei einer schiefen Ebene parallel mit der Grundlinie wirkt, mithin nach § 88

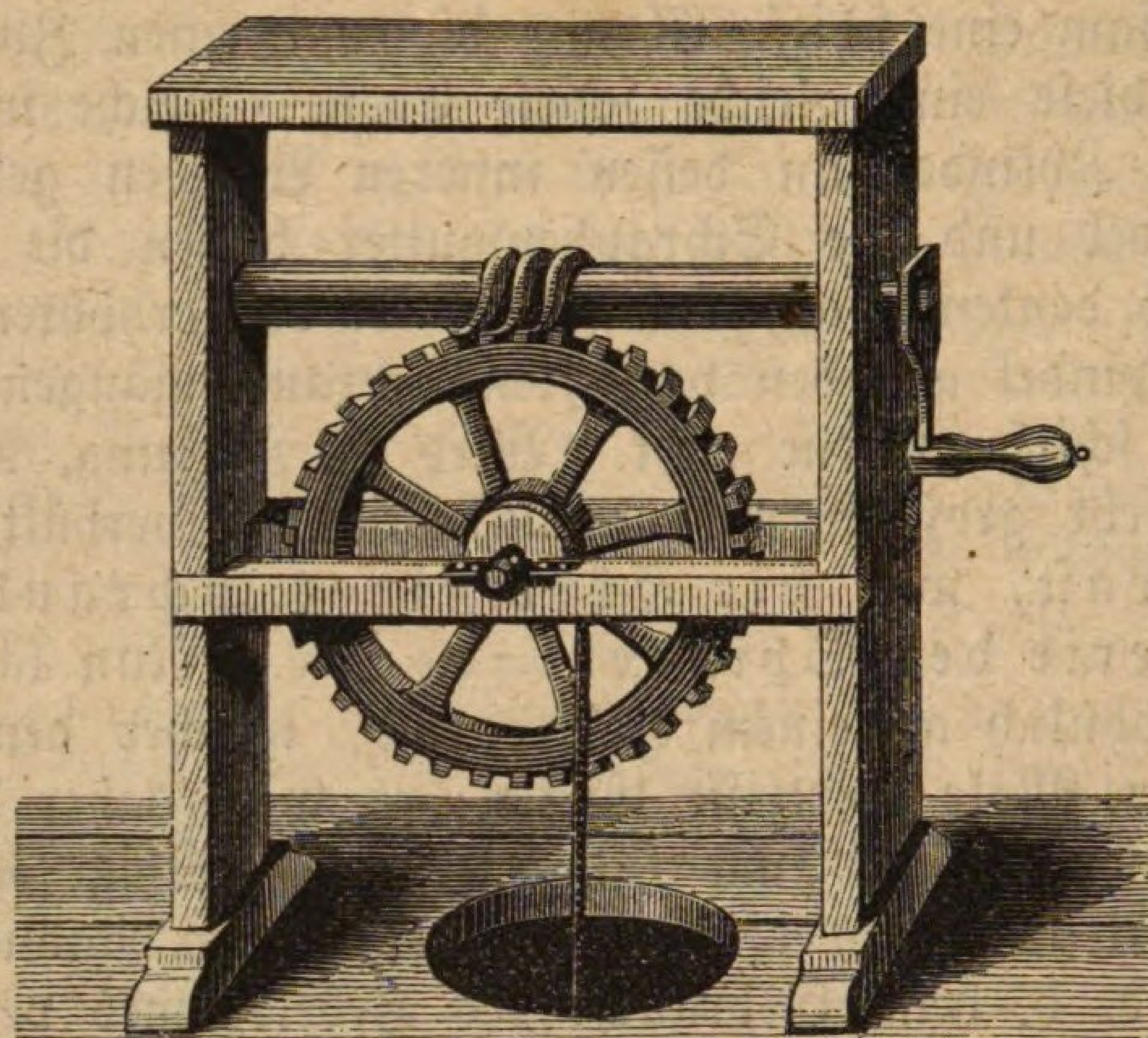
die Kraft $= \frac{1}{n} L . tg\, abc = \frac{1}{n} L . \frac{ac}{bc} = \frac{1}{n} L . \frac{h}{2r\pi}$; also die Kraft in allen n Schraubengängen $K = L . \frac{h}{2r\pi}$ oder $K . 2r\pi = L . h$,

d. h. $K : L = h : 2r\pi$.

Eine **Schraube ohne Ende** (s. umst. Fig. 35a) besteht aus einer Spindel mit einigen Schraubengängen, deren Hervorragungen, wenn sie gedreht wird, ein gezahntes Rad in Bewegung setzen. Sie wird gebraucht, sanfte Bewegungen hervorzubringen, daher auch andere Instrumente genau zu stellen.

Die abgehandelten sechs Instrumente: „Hebel, Rolle, Rad an der Welle, schiefe Ebene, Keil und Schraube" heißen die sechs einfachen Maschinen,

Figur 35 a.



weil sie die Haupttheile aller zusammengesetzten Maschinen sind; und weil die Rolle und das Rad an der Welle sich auf den Hebel, so wie der Keil und die Schraube auf die schiefe Ebene zurückführen lassen, so nennt man den Hebel und die schiefe Ebene noch besonders die Elemente der Maschinen.

---

8. Von dem Pendel.

91. Ein Faden oder eine metallene Stange, an einem Ende fest, an deren anderm Ende eine Bleikugel oder ein merklich schwerer, gewöhnlich linsenförmiger Körper befestigt ist; überhaupt jeder feste Körper, der sich um einen unbeweglichen Punkt frei hin und her bewegen kann, wird ein physisches oder zusammengesetztes Pendel genannt. Ihm entgegengesetzt ist das mathematische oder einfache Pendel, unter dem wir uns eine völlig schwerlose und steife Linie, an dem einen Ende aufgehangen, an dem anderen mit einem einzigen schweren Punkt versehen, denken müssen. An diesem letzteren, nicht darstellbaren Pendel werden die hierher gehörenden Gesetze entwickelt und auf jenes übertragen.

Das einfache Pendel.

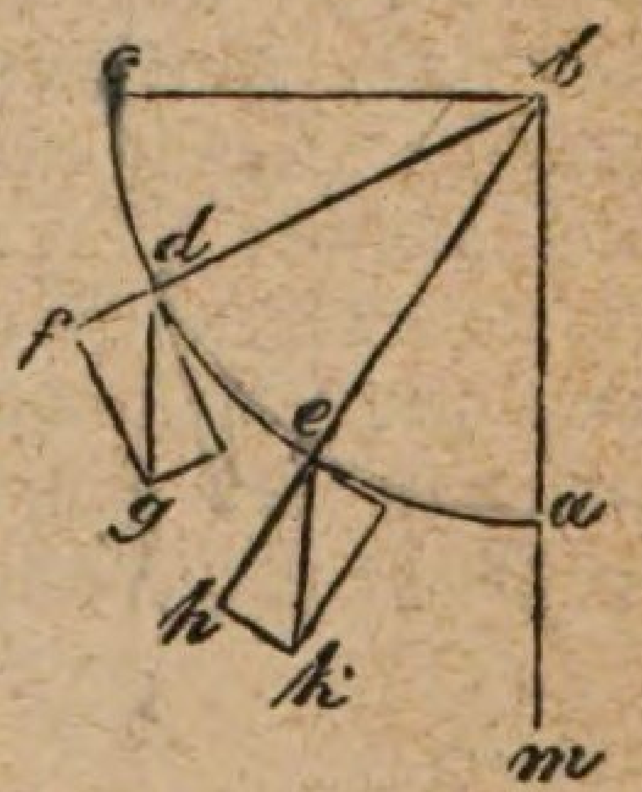
92. Das Pendel kann in Folge des Gesetzes der Schwere nur in der lothrechten Lage ruhen. Aus dieser Lage des Gleichgewichtes in eine andere gebracht und dann freigelassen, bewegt es sich hin und her, indem es sich eben so weit nach der einen, als nach der anderen Seite von der lothrechten Lage entfernt. Die Höhe, von welcher es auf der einen Seite herabfällt, erreicht es auf der anderen Seite steigend wieder. Das Herabfallen auf der einen Seite ist Folge der Schwere, das Hinaufsteigen auf der anderen dagegen Folge der

durch das Herabfallen erlangten Geschwindigkeit oder des Beharrungsvermögens, welchem die Schwere entgegenwirkt. Ein Pendel, einmal in Bewegung gesetzt, würde, da die kontinuirlich wirkende Schwerkraft die bewegende Kraft ist, nie aufhören, sich zu bewegen, wenn es ein wahrhaft einfaches sein könnte und sich im luftleeren Raume bewegte. Die Reibung am Aufhängepunkte und der Widerstand der Luft heben die Bewegung nach und nach auf.

93. Die Pendelbewegung ist eine Kreisbewegung. Der Aufhängepunkt ist der Mittelpunkt; der schwere Punkt beschreibt die Peripherie, deren Radius, die gerade Linie vom Aufhängepunkte bis zu dem schweren Punkte, die Länge des Pendels oder die Pendellänge heißt. Schwingung (Pendelschlag, Oszillation) nennt man die Bewegung längs des ganzen Kreisbogens, in dessen einer Hälfte der schwere Punkt sich herab und in dessen anderen hinauf bewegt, und Schwingungszeit ist die auf eine Schwingung verwendete Zeit.

94. Die Pendelbewegung ist in einem Theile der Schwingung beschleunigt, in dem anderen verzögert; denn der schwere Punkt rollt gleichsam in dem einen Theile auf einer Art von schiefer Ebene herab, im zweiten hinauf; sie ist aber dabei ungleichmäßig beschleunigt und verzögert, weil der Theil der Schwerkraft, welcher in der einen Hälfte die Beschleunigung und in der anderen die Verzögerung bewirkt, sich an Stärke nicht so, wie bei der schiefen Ebene, gleich bleibt, was im Allgemeinen schon dadurch klar wird, daß jede Hälfte des Bogens aus vielen, verschieden geneigten Ebenen bestehend, betrachtet werden kann. — In jedem Punkte des Bogens giebt die Tangente die Richtung der schiefen Ebene an, woraus (§ 84) die Beschleunigung berechnet werden kann.

Figur 36.



Zerlegt man (§ 39) die Schwerkraft (absolute Kraft — α —) des schweren Punktes in Figur 36 in eine längs der Länge des Fadens (bd) (spannende Kraft — sp —) und in eine auf diese senkrecht, also längs der Tangente wirkende Kraft (respektive Kraft — r —), so sieht man, wie jene, wenn cb horizontal und ab perpendikulär ist, von c bis a zunimmt von Null bis zur Größe der absoluten Kraft, diese dagegen abnimmt von der Größe der absoluten Kraft bis zu Null. Die resp. Kraft oder die bewegende Kraft wird also desto kleiner, je näher das Pendel der senkrechten Lage kommt. Der Winkel, welchen die jedesmalige Lage des Pendels mit der senkrechten Lage, d. i. mit der Gleichgewichtslage bildet, heißt der Elevationswinkel (e). Die absolute Kraft verhält sich zur respektiven, wie Eins zum Sinus des Elevationswinkels; dagegen verhält sich die absolute Kraft zur spannenden, wie Eins zum Kosinus dieses Winkels, denn im $\triangle$ dfg steht:

$$\alpha : r = dg : fg = 1 : \frac{fg}{dg} = 1 : \sin fdg = 1 : \sin dba,$$

also $\alpha : r = 1 : \sin e$

und $\alpha : sp = dg : df = 1 : \dfrac{df}{dg} = 1 : \cos e.$

Für $e = 90^0$ steht $\alpha : r = 1 : 1$, also $r = \alpha$

$\alpha : sp = 1 : 0$, also $sp = 0$.

Für $e = 0^0$ ist dagegen $r = 0$ und $sp = \alpha$.

95. **Pendel von gleicher Länge schwingen** (wenn sie nur nicht zu verschieden hoch erhoben werden, bei Oszillationen von 3° oder 4°) **gleich schnell**; von zwei Pendeln, die ungleich lang sind, schwingt das kürzere schneller, als das längere, und zwar in der Art, daß es doppelt so viele Schwingungen macht, oder halb so große Schwingungszeiten hat, wenn es vier Mal; drei Mal so viel Schwingungen macht, oder drei Mal kürzere Schwingungszeiten hat, wenn es neun Mal kürzer ist u. s. w., welches so ausgedrückt wird: **die Schwingungszeiten zweier Pendel verhalten sich zu einander, wie die Quadratwurzeln der Pendellängen, oder: die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten sich zu einander, wie die Pendellängen**, also:

$$T:t=\sqrt{L}:\sqrt{l} \text{ oder } T^2:t^2=L:l.$$

Die Schwingungszahlen beider Pendel verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Schwingungszeiten derselben, mithin auch die Quadrate jener umgekehrt wie die Quadrate dieser, also:

$$T:t=z:Z \text{ oder } T^2:t^2=z^2:Z^2.$$

Durch Vergleichung dieser Proportionen mit den voranstehenden erhält man:

$$z:Z=\sqrt{L}:\sqrt{l} \text{ oder } z^2:Z^2=L:l, \text{ d. h. } =?$$

Ist ein Pendel 9', ein anderes 16' lang, so verhalten sich ihre Schwingungszeiten wie 3 : 4, ihre Schwingungszahlen wie 4 : 3, d. h. wenn jenes 4 Schwingungen macht, macht dieses 3 in derselben Zeit. — Pendelmaschine. — Die Zykloide ist eine tautochronische und zugleich brachystochronische Kurve.

Die Richtigkeit des Hauptgesetzes beim Pendel läßt sich etwa so übersehen: Die Proportion $\alpha:r=1:\sin e$ zeigt, daß die respektive Kraft nur von dem Elevationswinkel abhängt, also bei kurzen und bei langen Pendeln, wenn sie nur um gleich viel erhoben werden, gleich groß ist, woraus aber noch nicht folgt, daß alle Pendel auch gleich schnell schwingen müssen. Das kann nur dann der Fall sein, wenn sie gleiche Wege zurückzulegen haben, also zu den gleichen Elevationswinkeln auch gleiche Bogen gehören, daher nur bei Pendeln von gleicher Länge; bei einem 4=, 9=, 16= ꝛc. ꝛc. mal längeren Pendel ist aber bei demselben Elevationswinkel auch der Bogen 4=, 9=, 16= ꝛc. ꝛc. mal größer; aber zur Zurücklegung eines 4=, 9=, 16= ꝛc. ꝛc. mal größeren Weges braucht ein von der Schwere bewegter Körper nach § 67 eine 2=, 3=, 4= ꝛc. ꝛc. mal so große Zeit, also überhaupt

$$T:t=\sqrt{L}:\sqrt{l} \text{ und } t=\sqrt{\frac{1}{2.g}}.$$

Zusammengesetztes Pendel.

96. Ein zusammengesetztes Pendel stimmt in seinen Schwingungen nicht überein mit einem gleich langen einfachen Pendel; es schwingt nämlich schneller, als dieses, d. h. ein einfaches Pendel, welches so schnell schwingen soll, als ein zusammengesetztes von einer gewissen Länge, muß kürzer sein. Daß es so sein müsse, folgt daraus, daß das zusammengesetzte Pendel als ein Aggregat von schweren Punkten zu betrachten ist, welche vom Aufhängepunkt verschieden weit entfernt

sind, mithin verschieden schnell zu schwingen das Bestreben haben. Da sie aber fest mit einander verbunden sind, so bedingen sie sich in ihrer Bewegung wechselseitig. Die dem Aufhängepunkte näheren zwingen die entfernteren, schneller zu schwingen, als ihnen zukommt, werden aber auch zugleich durch diese genöthigt, langsamer zu schwingen, als sie es, ihrer Entfernung gemäß, für sich thun würden; hierdurch entsteht eine gewisse mittlere Geschwindigkeit, wie sie einem gewissen mittleren Punkte des Pendels zugehört. Dieser Punkt eines zusammengesetzten Pendels, bis zu welchem, vom Aufhängepunkte an gerechnet, ein eben so schnell schwingendes einfaches Pendel reicht, heißt der Mittelpunkt der Schwingung oder des Schwunges, auch Schwingungspunkt. Die wahre Länge eines zusammengesetzten Pendels wird auch nur bis dahin gerechnet.

97. Ein Sekundenpendel ist ein physisches Pendel, dessen Schwingungszeit eine Sekunde beträgt. Da die Pendelbewegung, wie der freie Fall und der Fall auf der schiefen Ebene, Folge der Schwere ist, so kann ein Sekundenpendel weder an allen Orten der Erde, noch in allen Entfernungen von der Erde einerlei Länge haben. Je schneller ein Körper fällt, desto länger muß ein Sekundenpendel sein; ein Sekundenpendel in unserer mittleren Breite (ungefähr 3′ 2″ — in Paris 48° 50′ Breite 993,87 Meter) ist länger als ein Sekundenpendel am Aequator, kürzer aber als ein solches an den Polen. Wirkte auf unser Sekundenpendel eine 4-, 9-, 16-mal so große Schwerkraft, so würde es seine Schwingungen in $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ Sekunde vollenden, denn bei vierfacher Schwerkraft würde der freie Fallraum einer Sekunde $4 . 15' = 60'$, also so viel als bei uns der Fallraum zweier Sekunden, betragen, und dasselbe gilt für die schiefe Ebene und für das Pendel. Unser Pendel würde also bei vierfacher Schwerkraft in einer Sekunde den Raum zurücklegen, den es bei uns in zwei Sekunden zurücklegt, d. i. zwei Schwingungen; es würde mithin auf eine Schwingung eine halbe Sekunde verwenden u. s. w.

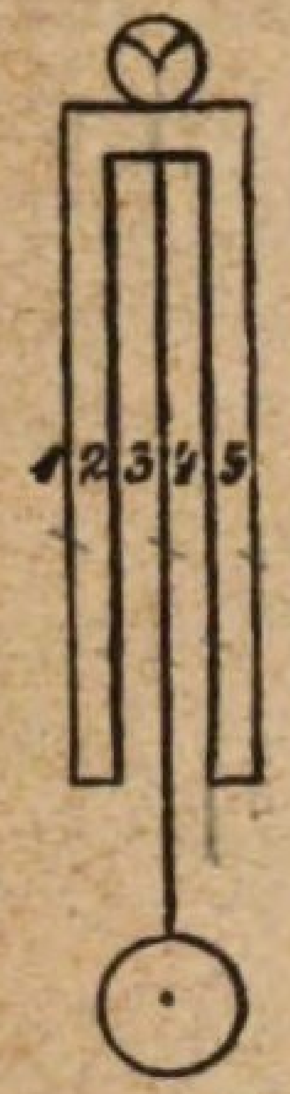
Richer mußte (1672) sein Pariser Sekundenpendel auf der Insel Kayenne, 4° 56′ vom Aequator, um $1^1/_4$ Linien verkürzen, und dieses so verkürzte bei seiner Zurückkunft in Paris wieder um $1^1/_4$ Linien verlängern. — Pendeluhren aus Gebirgen in die Ebene gebracht, ändern ihren Gang. — Heißt die geographische Breite eines Ortes b, so ist die Länge seines Sekundenpendels in Pariser Linien $= 439{,}4009 + 2{,}2887 \sin^2 b$.

98. Wie die Reibung am Aufhängepunkte und der Widerstand der Luft einen Stillstand bewirken, so erzeugen Wärme und Kälte, indem sie das Pendel verlängern und verkürzen (§ 182. 1), einen langsameren und schnelleren Gang desselben, weshalb Pendeluhren im Sommer langsamer als im Winter gehen.

Die bewegliche Linse an den Pendeluhren. — Ein Kompensationspendel ist ein aus durch Wärme sich ungleich ausdehnenden Metallen so zusammengesetztes Pendel, daß der Schwingungspunkt seine Entfernung vom Aufhängepunkt nicht ändert, weshalb seine Schwingungszeit unverändert dieselbe bleibt. Das einfachste ist das Pendel mit Quecksilberkompensation. Die Pendelstange trägt am unteren Ende ein zylindrisches Gefäß mit so vielem Quecksilber, daß

um so viel der Schwingungspunkt durch die Ausdehnung der Stange erniedrigt wird, um eben so viel derselbe durch die gleichzeitige Ausdehnung des Quecksilbers erhöht wird; weshalb der Quecksilberzylinder solche Dimensionen haben muß, daß seine Erhöhung das Doppelte von der Verlängerung der Stange beträgt. — Die Rostpendel bestehen aus Metallstangen, die sich bei derselben Wärme ungleich stark ausdehnen. Das Messing dehnt sich doppelt so stark aus als der Stahl; werden daher zwei Stahlstäbe mit einem Messingstabe so verbunden, daß der Messingstab als der mittlere, mit dem einen Stahlstabe unten, und mit dem andern oben durch Querstücke verbunden ist, und befindet sich der Aufhängepunkt am freien Ende des einen Stahlstabes, während der andere eine Kugel oder eine metallene Linse trägt, so wird diese, bei zweckmäßiger Einrichtung des Instrumentes, ihre Entfernung vom Aufhängepunkte nicht ändern. Auch Zink dehnt sich zwei Mal stärker als Stahl aus, und darauf gründet sich ein anderes Rostpendel aus drei Stahlstäben 1, 3, 5, und zwei Zinkstäben 2 und 4 in Figur 37.

Figur 37.

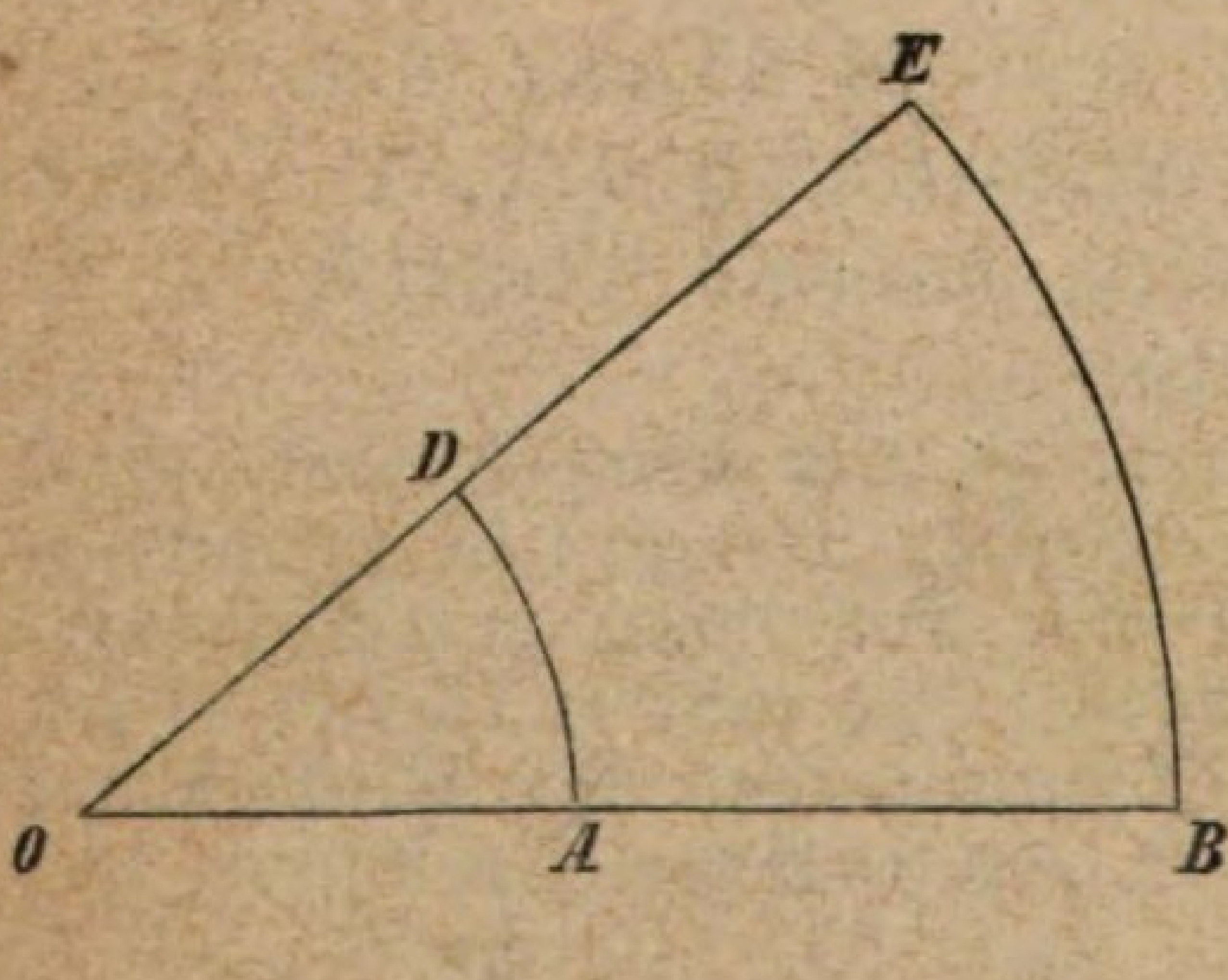


99. Auf das Pendel gründen sich: das **genaue Zeitmaaß** durch die Pendeluhren (Huyghens 1658), die **Bestimmung des Fallraumes** Einer Sekunde mittelst des Sekundenpendels, und die **Bestimmung der Schwere** an verschiedenen Orten der Erde (97), woraus wir erst ihre Figur kennen lernen; sowie aus der Abweichung des ruhenden Pendels von der vertikalen Richtung in der Nähe steiler, hoher Felsen ihr specifisches Gewicht = 4,7. Aus der unveränderten Lage der Schwingungsebene des Pendels führte Foucault (Paris 1851) den Beweis für die Achsendrehung der Erde. (Mathemat. Geogr. S. 41.)

Der Taktzähler oder Metronom ist ein Pendel, welches sich nicht um seinen Endpunkt, sondern um einen davon entfernten Punkt, der im Stabe selbst liegt, bewegt. Indem der fallende Theil den andern heben muß, entsteht eine Verzögerung in den Schwingungen, die durch Verrückung der Achse oder eines Schiebers nach Belieben vergrößert und verkleinert werden kann. — Ist der Elevationswinkel nicht größer als 15°, so beweiset die höhere Mathematik, daß überhaupt:

$$t = \frac{\pi}{\sqrt{2g}} \sqrt{l}, \text{ also für das Sekundenpendel } 1 = \frac{\pi}{\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{l},$$

also l oder die Sekundenpendellänge $= \frac{2g}{\pi^2} = 0{,}2026\,g$, und ist die Länge des Sekundenpendels bekannt, so ist $g = \frac{1}{2} l \pi^2 = 4{,}9348\, l$. Die Länge des Sekundenpendels beträgt am Aequator 3,0504, in Königsberg bei einer geogr. Breite von 54° 42′ 50″, nach Bessels Bestimmungen 3,0612 und an den Polen 3,0664 Pariser Fuß; der Fallraum der ersten Sekunde ist am Aequator 15,054, in Königsberg 15,1066 und an den Polen 15,132 Par. Fuß. Es beträgt also der Unterschied zwischen dem kürzesten und längsten Sekundenpendel nur etwa 2,3 Linien, und der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Falle der ersten Sekunde 11,232 Linien, also noch nicht einen Zoll.



Durch das Pendel wird gezeigt, daß alle Körper im luftleeren Raume gleich schnell fallen; weil Pendel bei gleicher reducirter Länge, aus den verschiedensten Materien verfertigt, gleichzeitig schwingen.

99 a. Wenn ein Körper um eine feste Achse, um einen festen Punkt gedreht werden soll, so leistet jede

Masse, auf welche die bewegende Kraft nicht unmittelbar wirkt, der Bewegung einen Widerstand, dessen Größe sich sowohl nach dem Gewicht der Masse (M), als auch nach ihrer Entfernung (R) vom Drehpunkte richtet. Das Produkt aus der Masse mit dem Quadrat dieser Entfernung (MR^2) nennt man das Trägheits-Moment der Masse. Dasselbe ist für die Maschinenlehre von großer Wichtigkeit. — Denkt man sich an der Stange OB eine Masse M erst in A, dann in B angebracht, so müssen die das Gleichgewicht bewirkenden Kräfte, K und Q, sich verhalten $K:Q = OB:OA = R:r$. Soll aber die Masse in A in derselben Zeit einen eben so großen Raum als in B durchlaufen, so müssen, da die Bogen $AD:BE = AO:BO = rR$, die Kräfte, welche auch diese Geschwindigkeit bewirken sollen, $P:K = R:r$ und beides zusammengesetzt $P:Q = R^2:r^2$. Sind aber die Massen verschieden (M und m), so müssen die Kräfte auch diesen proportional sein $P:Q = R^2M:r^2m$.

9. Von dem Stoße.

100. Das Zusammentreffen zweier Körper, von denen sich wenigstens einer bewegt, heißt Stoß. Wir betrachten hier, wenn auch die Erfahrung damit nicht ganz übereinstimmt, vollkommen unelastische und vollkommen elastische Körper, d. h. solche Körper, welche durch den Stoß ihre Gestalt gar nicht ändern, und solche, die sie zwar ändern, aber nach dem Stoße von selbst wieder vollkommen herstellen. Unter der Richtung der Bewegung versteht man hier die gerade Linie, in welcher sich der Schwerpunkt des Körpers bewegt. Der Stoß heißt nun zentral, wenn die Richtung oder die Richtungen der Bewegung (je nachdem sich nur einer oder beide Körper bewegen) durch die Schwerpunkte beider Körper gehen, und gerade, wenn die Richtungen der Bewegung auf der Ebene, in denen sich die Körper berühren, senkrecht stehen. Den Gegensatz hiervon bildet der exzentrische und der schiefe Stoß. Bei Kugeln gleichmäßiger Dichtigkeit ist der zentrale Stoß auch immer ein gerader, wobei die Richtung der Bewegung der Mittelpunkte auf der Tangentialebene des Berührungspunktes der Kugeln senkrecht steht. Wir betrachten hier vorzugsweise nur den zentralen geraden Stoß der Kugeln, wo keine rotirende Bewegung angenommen wird, wie sie der exzentrische Stoß immer hervorbringt.

101. Die Größe der Bewegung hängt (nach § 34) von der Masse und Geschwindigkeit der bewegten Körper ab, und zwei Körper haben nicht nur bei gleichen Massen und gleichen Geschwindigkeiten gleiche Größen der Bewegung, sondern auch dann, wenn sich ihre Massen umgekehrt wie die Geschwindigkeiten zu einander verhalten. Hierauf gründen sich die Untersuchungen über den Stoß unelastischer Kugeln.

1) Bewegen sich zwei unelastische Kugeln von gleicher Masse gegen einander mit gleicher Geschwindigkeit, so kommen sie beide nach dem Stoße in Ruhe; dasselbe findet statt, wenn sie ungleiche Massen haben, die sich aber zu einander umgekehrt wie ihre Geschwindigkeiten verhalten.

Zwei unelastische Kugeln derselben Materie, jede von 10 Pfd. Gewicht und 8 Fuß Geschwindigkeit, kommen nach dem Stoße eben so in Stillstand, wie wenn die eine 10 Pfd. Gewicht und 3 Fuß Geschwindigkeit, die andere aber 5 Pfd. Gewicht und 6 Fuß Geschwindigkeit hätte.

2) Bewegen sich zwei unelastische Kugeln von gleicher Masse, aber mit ungleicher Geschwindigkeit gegen einander, so bewegen sie sich nach dem Stoße beide vereint weiter mit gleicher Geschwindigkeit, und zwar mit der Hälfte des Ueberschusses der größeren Geschwindigkeit über die kleinere, in der Richtung der vor dem Stoße sich schneller bewegenden Kugel; auch wenn die Kugeln ungleiche Massen, dabei aber auch ungleiche Quantitäten der Bewegung haben, findet eine Bewegung beider in der Richtung der Kugel mit der größeren Quantität der Bewegung statt.

Haben hier die beiden Kugeln von 10 Pfd. Gewicht 8 F. und 4 F. Geschwindigkeit, so gehen sie nach dem Stoße in der Richtung der ersteren mit $\frac{8-4}{2} = 2$ F. weiter; hat aber die eine bei 10 Pfd. Gewicht 5 F. Geschw., die andere bei 5 Pfd. Gew. 7 F. Geschw., ist also die Quantität der Bewegung von jener 50 und von dieser 35, so ist nach dem Stoße $50-35=15$, die Quantität der vereinigten 10 und 5 Pfd., wodurch $Q=MC$ übergeht in $15=15C$, also $C=1$, d. h. die beiden Kugeln gehen mit der Geschwindigkeit von 1 F. in der Richtung der Kugel mit der größeren Quantität (50) weiter.

3) Bewegt sich eine unelastische Kugel hinter einer andern unelastischen, sich aber langsamer bewegenden Kugel von gleicher Masse, so theilt sie dieser beim Zusammentreffen so lange von ihrer größeren Geschwindigkeit mit, bis sie beide gleich viel haben, bis also beide mit der halben Summe ihrer Geschwindigkeiten in der gemeinschaftlichen Richtung fortgehen; auch bei ungleichen Massen gehen die Kugeln nach dem Stoße vereint in der gemeinschaftlichen Richtung mit gleicher Geschwindigkeit weiter, die aber anders bestimmt wird.

Folgt auf eine Kugel von 8 F. Geschwindigkeit eine zweite eben so große derselben Materie von 12. F. Geschw., so gehen sie nach dem Stoße mit $\frac{8+12}{2}=10$ F. weiter, denn indem die eine Kugel 1 F. Geschw. verliert, kann dadurch die eben so schwere andere auch nur 1 F. Geschw. gewinnen. Folgt aber auf eine Kugel von 4 Pfd. Gew. und 8 F. Geschw. eine zweite von 6 Pfd. Gew. und 13 F. Geschw., so wird die letztere auf die erstere beim Zusammentreffen so lange stoßend fortwirken, bis sie gleiche Geschwindigkeiten erhalten; verliert aber die letztere 1 F. Geschw., so muß dadurch die erstere $1\frac{1}{2}$ F. gewinnen, denn eine Kraft, welche 6 Pfunden 1 F. Geschw. giebt, muß 4 Pfunden $={}^{2}/_{3}.6$ eine Geschw. von ${}^{3}/_{2}.1={}^{3}/_{2}$ F. geben ($C:c=m:M$, da $V=v$ ist); kommt also hier die nachfolgende Kugel auf 12 F. Geschw. herunter, so kommt die vorangehende auf $9\frac{1}{2}$ herauf; kommt endlich jene auf 11 F., so kommt auch diese auf 11 F. — mithin haben 2 F. Geschw. Verlust 3 F. Geschw. Gewinn und dadurch gleiche Geschwindigkeiten hervorgebracht $\frac{4.8+6.13}{4+6}=\frac{110}{10}$.
Folgt dagegen auf eine Kugel von 6 Pfd. Gew. und 4 F. Geschw. eine zweite

von 2 Pfd. Gew. und 16 F. Geschw., so bringen 3 F. Geschw. Verlust erst 1 F. Geschw. Gewinn hervor, wodurch die Geschwindigkeiten auf 13 und 5, dann auf 10 und 6, und endlich auf 7 und 7 zu stehen kommen $\frac{6.4+2.16}{6+2}=\frac{56}{8}$.

4) **Stößt eine bewegte unelastische Kugel auf eine ruhende unelastische von gleicher Masse, so bewegen sich beide nach dem Stoße weiter mit der halben Geschwindigkeit und in der Richtung der stoßenden; auch bei ungleichen Massen findet eine Bewegung beider in der Richtung der stoßenden mit gleicher Geschwindigkeit statt.**

Stößt auf eine ruhende Kugel eine zweite gleich große Kugel mit 8 F. Geschw., so gehen sie beide nach dem Stoße mit 4 F. Geschw. weiter, da 1 F. Geschw. Verlust bei der stoßenden auch nur 1 F. Geschw. Gewinn bei der eben so schweren gestoßenen hervorbringen kann. Hat aber die ruhende Kugel 8 Pfd. Gew., die stoßende 4 Pfd. Gew. und 12 F. Geschw., so können erst 2 F. Geschw. Verlust der stoßenden in der doppelt so schweren ruhenden Kugel 1 F. Geschw. Gewinn hervorbringen — woraus folgt, daß sie endlich mit 4 F. Geschw. in der Richtung der stoßenden fortgehen werden.

Eine allgemeine Formel für alle diese Fälle läßt sich so entwickeln: Bedeuten M, m die Massen, C, c die Geschwindigkeiten; also MC und mc die Quantitäten der Bewegung zweier Körper, so erfolgt, wenn sie sich gegen einander bewegen, Ruhe oder Bewegung, je nachdem MC und mc gleich oder ungleich sind. Ist im letzteren Falle $MC > mc$, so vernichtet zuerst beim Zusammentreffen mc in MC so viel, als es selbst beträgt, und die Masse M behält noch als Größe der Bewegung $MC - mc$, mit welcher sie auf die vor ihr liegende Masse m wirkt und sie fortschiebt, wodurch ihre Geschwindigkeit kleiner wird; heißt nun die Geschwindigkeit der Gesammtmasse $M+m$ nach dem Stoße etwa x, also ihre Quantität der Bewegung $(M+m)\,x$, so ist $x\,(M+m) = MC - mc$, also:

$$x = \frac{MC - mc}{M+m}.$$

Folgen die Körper auf einander, der nachfolgende schneller, als der vorangehende, so geht von den Quantitäten der Bewegung nichts verloren, da der eine nur verliert, damit der andere gewinnt, und es ist dann $x = \frac{MC+mc}{M+m}$, also überhaupt $x = \frac{MC \mp mc}{M+m}$. Im ersten Falle steht für die Bewegungsmomente nach dem Stoße:

$$Mx = \frac{M(MC-mc)}{M+m} \text{ und } mx = \frac{m(MC-mc)}{M+m},$$

mithin die Verluste der Kräfte der Körper:

$$MC - \frac{M(MC-mc)}{M+m} = \frac{Mm(C+c)}{M+m} \text{ und}$$

$$mc + \frac{m(MC-mc)}{M+m} = \frac{mM(c+C)}{M+m},$$ d. h. beide Körper erleiden gleiche Verluste an der bewegenden Kraft. Der zweite verliert nicht nur mc, sondern erleidet auch noch dadurch einen Verlust, daß er durch den Stoß eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung annehmen muß.

Die Anwendung auf die abgehandelten Fälle giebt Folgendes:

Aus $x = \frac{MC - mc}{M+m}$.

1) Sowohl für $M=m$ und $C=c$, als auch $C:c=m:M$ ist $mc=MC$; also $x=0$.

2) Wegen $M=m$ ist $x = \frac{C-c}{2} = \frac{8-4}{2} = 2$.

Aus $x = \frac{MC + mc}{M + m}$.

3) Wegen M = m ist $x = \frac{C + c}{2} = \frac{8 + 12}{2} = 10$

und für die beiden andern Beispiele:

$$x = \frac{4 . 8 + 6 . 13}{4 + 6} = \frac{110}{10} = 11$$

$$x = \frac{6 . 4 + 2 . 16}{6 + 2} = \frac{56}{8} = 7.$$

4) Wegen c = o und M = m ist $x = \frac{C}{2} = \frac{8}{2} = 4$

und blos c = o giebt $x = \frac{CM}{M + m} = \frac{48}{8 + 4} = 4$.

102. Die Wirkung des Stoßes bei den elastischen Körpern hängt nicht blos von der Masse und von der Geschwindigkeit ab, wie bei den unelastischen, sondern auch noch von der Rückwirkung der Elastizität. Wir haben hier zu unterscheiden: die Zusammendrückung der Körper und die darauffolgende Herstellung ihrer Gestalt. Die zusammengedrückten elastischen Körper wirken nämlich, indem sie, wenn die zusammendrückende Kraft zu wirken aufgehört hat, ihre Gestalt wieder herstellen, bewegend auf einander, und zwar jeder auf den andern mit der Kraft, mit welcher er zusammengedrückt wurde. Durch die Rückwirkung der Elastizität bekommt jeder Körper einen seiner ursprünglichen Bewegung entgegengesetzten Stoß, wodurch jeder am Bewegungsmomente doppelt so viel verliert oder gewinnt, als er verloren oder gewonnen hätte, wenn beide Körper unelastisch gewesen wären. Auch hier heben wir nur folgende leichte Fälle heraus:

1) Stoßen zwei elastische Kugeln von gleichen Massen und mit gleichen Geschwindigkeiten gegen einander, so springen sie mit eben so großen Geschwindigkeiten von einander, jede auf dem Wege, auf welchem sie ankam; denn die erste Wirkung des Zusammentreffens ist, wie bei den unelastischen Kugeln, die völlige Vernichtung der Geschwindigkeiten, die zweite aber die, daß die wegen gleicher Quantitäten der Bewegung durch den Stoß gleich stark zusammengedrückten Kugeln sich auch durch die Elastizität gleich stark ausdehnen, und zwar mit der Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt wurden, und so treibt jede die andere so schnell zurück, als sie ankam.

2) Stoßen sie aber mit ungleichen Geschwindigkeiten an einander, so springen sie mit verwechselten Geschwindigkeiten zurück; denn die erste Wirkung ist wie bei den unelastischen, daß beide die halbe Differenz der Geschwindigkeiten annehmen, wobei die auch jetzt noch in der ursprünglichen Richtung bleibende als an Geschwindigkeit verlierend, die andere, welche die entgegengesetzte Richtung annimmt, aber als gewinnend betrachtet wird. Die zweite Wirkung ist, daß durch die Rückwirkung der Elastizität die verlierende Kugel noch ein Mal dieselbe Geschwindigkeit verliert, die gewinnende noch ein Mal dieselbe Geschwindigkeit gewinnt, was zur Folge die Verwechselung der Geschwindigkeiten in entgegengesetzter Richtung hat.

Bewegt sich eine Kugel von 9 F. Geschwindigkeit einer gleich großen derselben elastischen Materie von 5 F. Geschw. entgegen, so erhalten sie durch den Stoß zuerst $\frac{9-5}{2}=2$ F. Geschw. in der Richtung der ersteren, wodurch diese 7 F. verloren hat, da sie von 9 F. nur 2 in derselben Richtung behalten hat, die andere aber 7 F. gewonnen hat, da sie von 5 F. auf 2 F. in entgegengesetzter Richtung gekommen ist. Verliert nun jene durch die Rückwirkung der Elastizität von ihren 2 F. noch 7 F., so geht sie in entgegengesetzter Richtung mit 5 F. zurück, und gewinnt diese zu ihren 2 F. in entgegengesetzter Richtung noch 7 F., so geht sie mit 9 F. Geschw. zurück.

3) Bewegt sich eine elastische Kugel hinter einer andern elastischen, sich aber langsamer bewegenden Kugel von gleicher Masse, so gehen sie beide nach dem Stoße in derselben Richtung, aber mit verwechselten Geschwindigkeiten weiter, denn die erste Wirkung ist auch hier, wie bei den unelastischen Kugeln, daß sie mit der halben Summe der Geschwindigkeiten in der gemeinschaftlichen Richtung fortgehen, die zweite aber, daß sich Gewinn und Verlust an Geschwindigkeit durch die Rückwirkung der Elastizität wiederholen.

Holt eine elastische Kugel von 9 F. Geschw. eine gleich große derselben Materie von 9 F. Geschw. ein, so erhalten sie durch den Stoß eine Geschw. von $\frac{9+5}{2}=7$ F.; jene hat also 2 F. verloren, diese 2 F. gewonnen, und indem jene durch die Rückwirkung der Elastizität noch ein Mal 2 F. verliert, diese noch ein Mal 2 F. gewinnt, geht jene mit 5, diese mit 9 F. weiter.

4) Auch wenn eine bewegte elastische Kugel auf eine ruhende elastische von gleicher Masse trifft, findet eine Umkehrung statt; die gestoßene Kugel geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden in der Richtung derselben vorwärts, und die stoßende bleibt stehen; denn die erste Wirkung ist wieder, wie bei den unelastischen Kugeln, daß sie die halbe Geschwindigkeit annehmen, die zweite aber, daß die stoßende durch die Rückwirkung der Elastizität auch diese halbe Geschwindigkeit verliert, also stehen bleibt, die gestoßene aber noch ein Mal die halbe Geschwindigkeit erhält, mithin mit der ganzen Geschwindigkeit der stoßenden fortgeht.

5) Schwieriger ist die Betrachtung, wenn die elastischen Kugeln ungleiche Massen haben, wiewohl sie sich nur auf das hier Vorgetragene gründet, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Trifft eine Kugel von 7 Pfd. Gew. und 1 F. Geschw. auf eine ihr entgegenkommende Kugel von 4 Pfd. und 10 F. Geschw., so stünde, wenn sie unelastisch wären, $40-7=33$ und $^{33}/_{11}=3$ F.; da diese Geschwindigkeit auf die Richtung des Körpers mit der größeren Quantität der Bewegung Bezug hat, so hat die Kugel von 7 Pfd. 4 F. Geschw. gewonnen, da sie jetzt mit 3 F. rückwärts, also in der Richtung der andern geht, die Kugel von 4 Pfd. aber 7 F. Geschw. verloren; verdoppelt sich nun durch die Rückwirkung der Elastizität sowohl Gewinn als Verlust, so wird die Kugel von 7 Pfd. mit 7 F. Geschw., die von 4 Pfd. mit 4 F. Geschw. zurückgehen.

Folgt auf eine Kugel von 4 Pfd. und 6 F. Geschw. eine andere von 1 Pfd. und 11 F. Geschw., so würden sie, wenn sie unelastisch wären, da 4 F. Geschw. Verlust bei 1 Pfd. erst 1 F. Geschw. Gewinn bei 4 Pfd. hervorbringen, nach dem Stoße 7 F. Geschw. annehmen. Die Verdoppelung des Gewinnes und Verlustes giebt jener 8, dieser 3 F. Geschw. — Trifft auf eine ruhende 8 Pfd. schwere Kugel eine andere 4 Pfd. schwere mit 6 F. Geschw., so würden

sie sich als harte Kugeln nach dem Stoße mit 2 F. Geschw. fortbewegen, die erstere würde also 2 F. gewinnen, die zweite 4 F. verlieren. Durch die Verdoppelung des Gewinnes und des Verlustes geht jene mit 4 F. Geschwindigkeit in der Richtung der stoßenden vorwärts, diese selbst aber mit 2 F. Geschw. zurück.

Der Verlust des Bewegungsmomentes harter Körper (§ 101) wird bei dem elastischen durch die Rückwirkung der Elastizität verdoppelt; er ist also:

$$\frac{2Mm(C+c)}{M+m},$$

daher behält als Bewegungsmoment

der erste Körper $MC - \frac{2Mm(C+c)}{M+m} = \frac{MC(M-m)-2Mmc}{M+m}$

der zweite Körper $mc - \frac{2Mm(C+c)}{M+m} = \frac{-mc(M-m)-2MmC}{M+m}$.

Wenn die Geschwindigkeit des ersten Körpers nach dem Stoße C^1 und des zweiten c^1 heißt, so ist:

$$MC^1 = \frac{MC(M-m)-2Mmc}{M+m}, \text{ also } C^1 = \frac{C(M-m)-2mc}{M+m}$$

und auf ähnliche Art $c^1 = \frac{c(m-M)-2MC}{M+m}$.

Die Anwendung auf die behandelten Fälle giebt:

1) Wegen $M=m$ und $C=c$ für beide Körper: $-C$, d. h. —?

2) Wegen $M=m$ für den ersten Körper: $-c$ \
„ „ zweiten „ -0 } d. h. —?

3) Wegen $M=m$ und statt $-c$ gesetzt $+c$ \
für den ersten Körper c \
„ „ zweiten „ $-C$.

4) Wegen $M=m$ und $c=0$ \
für den ersten Körper 0 \
„ „ zweiten „ $-C$ } d. h. —?

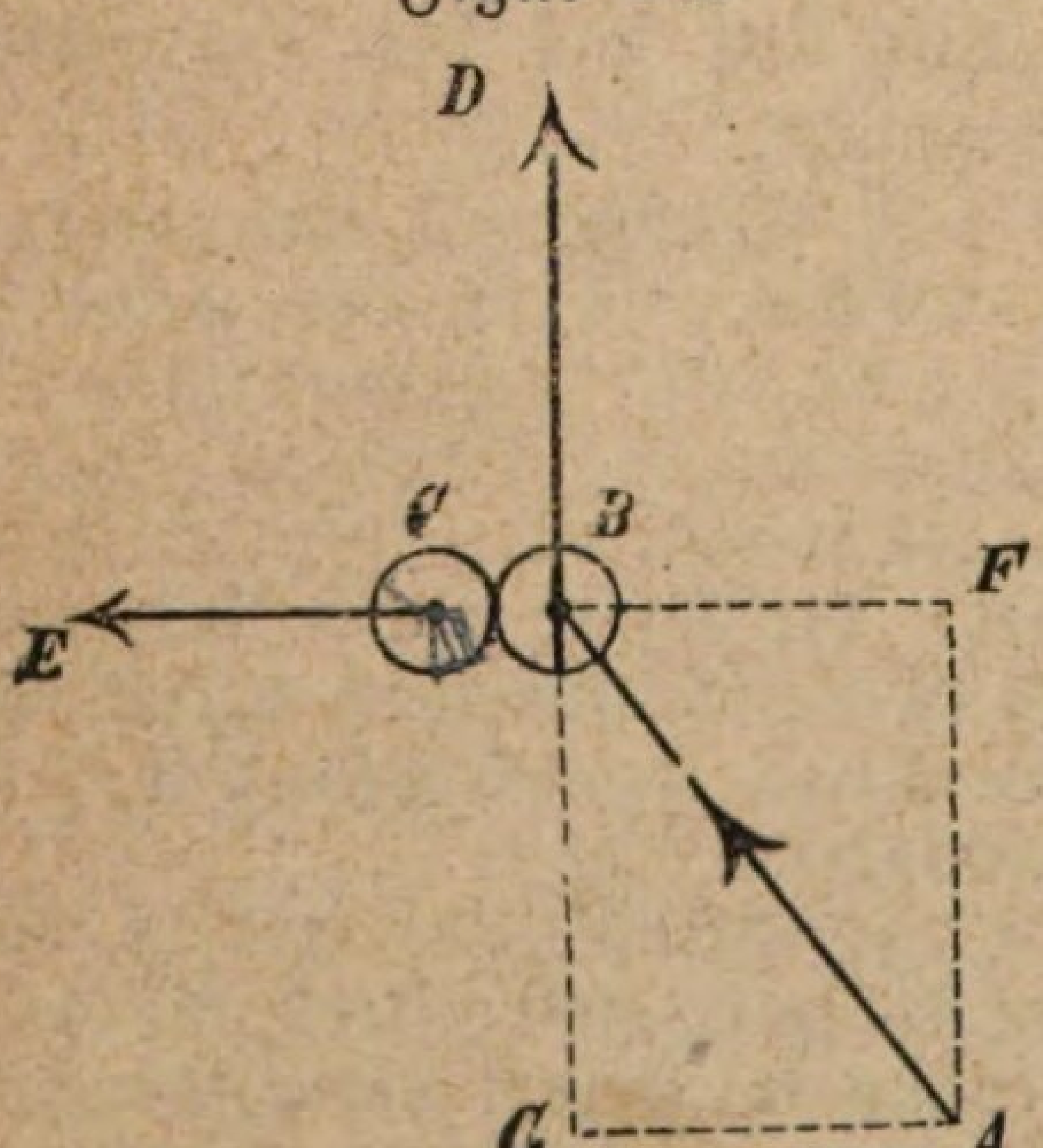
5) *a*, $C^1 = \frac{-3.10-14}{11} = -4$ u. $c^1 = \frac{3.1-2.4.10}{11} = -7$

b, $C^1 = \frac{3.6+2.1.11}{5} = 8$ u. $c^1 = \frac{-3.(-11)-2.4.6}{5} = -3$

c, $C^1 = \frac{-4.6-0}{12} = -2$ u. $c^1 = \frac{4.0+2.4.6}{12} = 4$.

Nollet's Perkussions- oder Stoßmaschine. —

Figur 38.

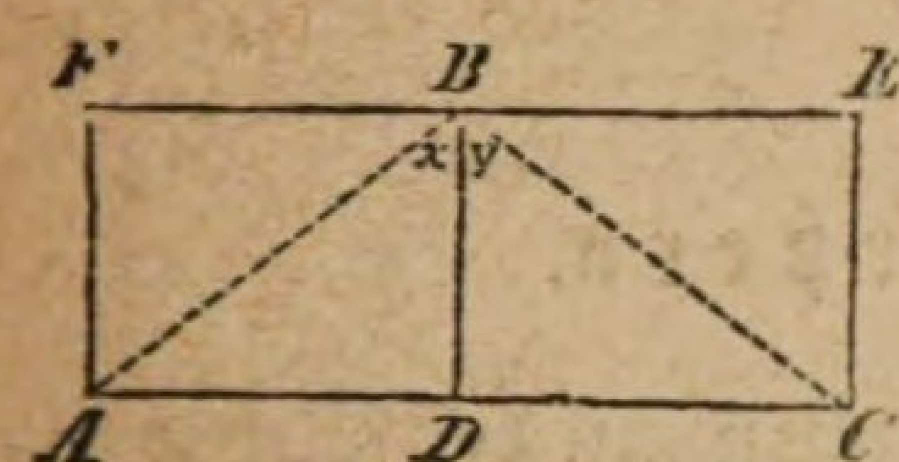


6) Wird in Figur 38 eine ruhende elastische Kugel C von einer zweiten elastischen Kugel B gleicher Masse in einem schiefen Stoße AB getroffen, so wird sie in der geraden Linie CE fortbewegt, welche durch die Mittelpunkte der beiden Kugeln und deren Berührungspunkt geht, während die stoßende Kugel in einer auf dieser Linie senkrechten Richtung BD fortgeht.

103. Wenn eine unelastische Kugel gegen eine feste Ebene senkrecht stößt, so hebt diese ihre Bewegung auf; trifft aber eine elastische Kugel eine feste Ebene senkrecht, so springt sie

durch die Rückwirkung der Elastizität in der entgegengesetzten Richtung und mit derselben Geschwindigkeit zurück.

Figur 39.



Wenn eine unelastische Kugel eine feste Ebene FE, Figur 39, schief trifft, so läßt sich der schiefe Stoß AB in einen senkrechten DB = AF und in einen der Ebene parallelen FB = AD zerlegen, und indem jener durch die Ebene selbst aufgehoben wird, bewegt sich durch diesen die Kugel parallel mit der Ebene fort, längs BE, aber mit geringerer Geschwindigkeit, da BF kleiner ist als AB. Anders aber ist der Erfolg, wenn die schief stoßende Kugel elastisch ist; in B angekommen, ist sie der Wirkung zweier Kräfte ausgesetzt, nämlich der vorhin schon angegebenen längs der Ebene wirkenden BE = AD und der durch die Rückwirkung der Elastizität entstehenden, vermöge welcher sie längs BD = FA zurückspringen müßte, woraus folgt, daß sie längs der Diagonale BC zurückprallt. Wegen $\triangle ADB \cong \triangle DBC$ ist $\angle x = \angle y$. Von diesen Winkeln heißt x der Einfallswinkel und y der Zurückwerfungswinkel, so wie BD das Einfallsloth. Man sagt daher: Ein elastischer Körper wird von einer festen Ebene immer so zurückgeworfen, daß der Zurückwerfungswinkel gleich ist dem Einfallswinkel.

Ballspiel — Billardspiel. — Die Kugeln auf dem Billard nehmen außer der gleitenden Bewegung auch eine rollende an, weshalb sich die Lehre vom Stoße an ihnen nicht gut zeigen läßt.

Ein in Bewegung versetzter Körper beharrt in seiner Richtung und Geschwindigkeit (§ 28), kann durch dieselbe einen Widerstand überwinden, eine nützliche Wirkung hervorbringen. Der herabgefallene Körper würde mit der erlangten Geschwindigkeit weiter gehen, übt also auf den hindernden Widerstand einen der Masse und der Geschwindigkeit des Körpers entsprechenden Druck (M. C. § 34) aus, welcher als bewegende Kraft wieder benutzt werden kann. — Der Wagenzug auf einer Eisenbahn bewegt sich mit großer Gewalt fort, wenn auch die Dampfmaschine ihn nicht mehr treibt. — Diese Wirkungs- und Arbeitsfähigkeit eines Körpers nennt man seine lebendige Kraft. Um dieselbe zu messen, nimmt man als Einheit die Kraft an, welche erforderlich ist, 1 Pfund in 1 Sekunde 1 Fuß hoch zu heben: Fuß-Pfund. Eine Pferdekraft, nach welcher man wohl die Wirkung der Maschinen bestimmt, setzt man 500 Fuß-Pfund. Dem immer häufiger in Anwendung kommenden französischen Maße (§ 13 und 24) entsprechend ist das Meter-Kilogramm, welches 1 Kilogramm 1 Meter hoch hebt. — Man pflegt die lebendige Kraft zu bestimmen als Produkt aus der Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Vierter Abschnitt.

Von den flüssigen Körpern.

104. Alle Erscheinungen flüssiger Körper beruhen auf der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile. Wegen dieser Eigenschaften muß Wasser, wie jede andere Flüssigkeit, wenn es auf eine horizontale Ebene gegossen wird, zerfließen, und auf einer schiefen Ebene herabfließen; die oberen Theile drücken nämlich vermöge ihrer Schwere auf die unteren, und diese weichen vermöge ihrer leichten Verschiebbarkeit aus. Wasser kann mithin nur in Gefäßen angehäuft werden, und seine in Ruhe gekommene Oberfläche muß horizontal sein. Diese horizontale Oberfläche heißt der Spiegel der Flüssigkeit, Wasserspiegel, Niveau oder Libelle. — Die für die festen Körper ermittelten Gesetze, wie vom Fall, Parallelogramm der Kräfte, gelten auch für die flüssigen, wenn nicht die Verschiebbarkeit der Atome eine Abänderung bewirkt.

In Folge der Kohäsion (§ 20) bilden kleine Wassertheile kugelförmige Tropfen. Die Richtungen der Schwere stehen auf dem Wasserspiegel senkrecht. — Die Oberfläche der Flüssigkeiten in Haarröhrchen ist nicht horizontal, sondern konvex oder konkav (22). Weit ausgedehnte Wasserflächen, wie die Oberfläche des Meeres, bilden Kugelabschnitte — die eines Flusses: eine schiefe Ebene.

105. Ein Druck, welchen man auf einen Theil der eingeschlossenen Flüssigkeit ausübt, verbreitet sich gleichmäßig nach allen Seiten hin durch dieselbe. Denkt man sich ein Gefäß mit Wasser gefüllt, und an einer Stelle eine verschiebbare Röhre von 1 Quadratfuß Weite, auf welche ein Druck von 20 Pfd. ausgeübt wird, so erleidet jeder Quadratfuß auf dem Boden sowohl als an der oben begrenzenden Decke, an den Seitenwänden wie mitten im Wasser einen solchen Druck von 20 Pfd., abgesehen von dem Druck, welchen das Gewicht des Wassers bewirkt. — Da jedes Wassertheilchen der Oberfläche auf das unter ihm liegende vermöge seiner Schwere einen Druck ausübt, dieses aber sowohl wegen seiner eigenen Schwere, als auch wegen des auf ihn von oben herab ausgeübten Druckes nicht nur herabwärts, sondern auch, weil es gewaltsam zwischen die Wassertheile derselben Horizontalebene eingepreßt wird, seitwärts drückt, so folgt hieraus, daß das in einem Gefäße eingeschlossene Wasser sowohl auf den Boden, als auch auf die Seitenwände einen Druck ausübt, welcher, in jeder horizontalen Schicht gleich groß, mit der Tiefe unter dem Niveau wachsen muß. Eben so nothwendig ist es, daß in jeder Schichte der Flüssigkeit dem Drucke herabwärts ein gleich großer Druck heraufwärts entgegenwirkt; wir unterscheiden daher Bodendruck, Seitendruck und Aufdruck des Wassers.

Die Größe des Druckes auf dem Boden wird nicht durch die Menge des Wassers bestimmt, welche das Gefäß enthält, oder durch die Form des letzteren, sondern stets durch die Größe des Bodens und durch die Höhe, bis zu welcher es darin steht. Es ist nämlich der Bodendruck gleich dem Gewichte einer vertikalen Wassersäule, deren Grundfläche der Boden dieses Gefäßes, und deren Höhe die Entfernung des Wasserspiegels vom Boden ist. Es ist mithin nur in Gefäßen mit senkrechten Wänden, also auch von überall gleicher Weite, der Druck auf den Boden genau gleich dem Gewichte der darin enthaltenen Wassermenge; in sich verengenden dagegen größer, so wie in sich erweiternden kleiner, als das Gewicht derselben. Um ein gefülltes Glas zu halten oder auf der Waage zu wiegen, ist aber natürlich immer eine Kraft nöthig, die gleich ist der Summe der Gewichte des Wassers und des Gefäßes selbst. Hydrostatische Paradoxen. —

Das Gewicht eines preußischen Kubikfußes destillirten Wassers (im luftleeren Raume und bei + 15° R.) ist 66 Pfd.*) alten Gewichts (61,7364 Pfd. neuen Gewichts); wäre nun eines Gefäßes Grundfläche = 4 Q.-F. und stünde Wasser darin 10 Fuß hoch, so hätte der Boden einen Druck auszuhalten von 4 . 10 . 66 = 2640 Pfd., welcher Bodendruck bei allen Gefäßen von 4 Q.-F. Grundfläche und 10 F. Höhe, so verschiedener Form sie auch sein mögen, stattfindet, während das Gewicht der drückenden Flüssigkeit nach der Menge derselben bei jedem ein anderes sein kann.

Ein Kubikfuß Quecksilber wiegt, da Quecksilber ungefähr 14 Mal schwerer als Wasser ist, 14 . 66 = 924 Pfd.; werden nun eine zylindrische und eine konische Röhre von gleichen Grundflächen und gleichen Höhen (h) mit Quecksilber gefüllt, so würde in beiden der Bodendruck = $924\, r^2 \pi h$ Pfd. sein, also bei $r = 2'$, $h = 10'$, fast 116113 Pfd., während das Quecksilber in der zylindrischen Röhre eben so viel, in der konischen aber nur den dritten Theil, etwa 38,704 Pfd. wiegt; aber in einem nach oben sich erweiternden, abgestumpften Kegel, bei welchem der Halbmesser der Deckfläche noch einmal so groß wäre, als der der Grundfläche, würde das Quecksilber 270,931 Pfd. wiegen, der Bodendruck jedoch derselbe bleiben.

Der Aufdruck des Wassers läßt sich einfach durch einen am unteren Rande abgeschliffenen Glaszylinder und einer eben so abgeschliffenen Kreisscheibe aus Glas oder Metall, in deren Mitte eine Schnur befestigt ist, zeigen, indem man den Zylinder mit der mittelst der Schnur angezogenen Bodenscheibe in ein Gefäß mit Wasser herabläßt und die Schnur sodann locker hält oder losläßt.

106. Auch der Seitendruck hängt nicht von der im Gefäße enthaltenen Wassermenge ab, sondern von der Größe der gedrückten Stelle und ihrer Entfernung vom Wasserspiegel. Dieser Seitendruck ist gleich dem Gewichte einer vertikalen Wassersäule, deren Grundfläche die betrachtete Stelle der Seitenwand, und deren Höhe die Entfernung des Schwerpunktes dieser Stelle vom Wasserspiegel ist.

Gleich hohe Gefäße zur Aufbewahrung verschieden schwerer Flüssigkeiten müssen auch verschieden starke Wände haben, dagegen braucht ein weites Gefäß

*) In dem Folgenden sind, der leichteren Berechnung wegen, 66 Pfd. beibehalten.

keine stärkeren Wände zu haben, als ein enges derselben Höhe, wenn in beiden dieselbe Flüssigkeit aufbewahrt wird. — Die Röhren bei Wasserleitungen müssen desto stärker sein, je tiefer sie zu liegen kommen; leere, luftdicht geschlossene Flaschen, sehr tief ins Meer versenkt, wurden zerdrückt. — Scoresby erzählt, daß das Holz eines Bootes, welches von einem Wallfische vielleicht an 1000 Fuß tief herabgezogen worden war, durch den Druck des Wassers in dieser Tiefe (auf den Quadratfuß von jeder Seite 1 . 1000 . 66 Pfd. = 66,000 Pfund) so verdichtet wurde, daß es später, auch ausgetrocknet, nicht mehr schwimmen konnte. — Druck des Wassers gegen Dämme, Schleußen u. s. w. Segner'sche Wassermaschine, deren Rotation darauf beruht, daß der Seitendruck nach der einen Richtung durch Herausfließen des Wassers aufgehoben wird, während er nach der entgegengesetzten Richtung, wo keine Oeffnung ist, verbleibt, wodurch eine Bewegung nach dieser Richtung entsteht. Hierher gehören auch die Rückwärtsbewegungen abgeschossener Kanonen und Gewehre, so wie die Bewegung der Raketen und Feuerräder. Diese Erscheinungen beim Ausströmen der Flüssigkeiten und Gase beruhen auf der sogenannten Rückwirkung des Stoßes.

Wird ein würfelförmiges Gefäß mit einer Flüssigkeit gefüllt, so erleidet jede Seitenwand einen halb so großen Druck, als der Boden; ist die Seite des hohlen Würfelraumes = 2', so beträgt jener beim Wasser 8 . 66 . = 528 Pfd., dieser auf jede Seitenwand 264 Pfd., so wie jener beim Quecksilber 14 . 528 = 7392 und dieser 3696 Pfd.

107. Kommunizirende Röhren nennt man zwei oder mehrere Röhren oder Gefäße dann, wenn sie mit einander so verbunden sind, daß Flüssigkeiten aus einer in die andere fließen können. Das Gesetz der kommunizirenden Röhren ist: Gleichartige Flüssigkeiten (Wasser und Wasser, Quecksilber und Quecksilber) stehen in kommunizirenden Röhren von gleichen und ungleichen Weiten, auch bei verschiedener Richtung, zur Zeit der Ruhe oder des Gleichgewichts in gleichen Höhen, so also, daß die Flüssigkeits-Oberflächen in einerlei Horizontalebene liegen; ungleichartige Flüssigkeiten (Wasser und Quecksilber) stehen dagegen in ungleichen Höhen, und zwar im genau umgekehrten Verhältnisse ihrer spezifischen Gewichte. Eine enge Wassersäule kann also einer sehr weiten, aber eben so hohen, das Gleichgewicht halten.

Wasserleitungen, Wasserwaagen oder Kanalwaagen (Nivellirinstrument), Studirlampen; die Höhe des Standes einer Flüssigkeit in Fässern, Blasen und Dampfkesseln prüft man durch Standmesser, d. i. Glasröhren, welche, von außen angesetzt, sich in die Höhe erstrecken. Das bei jedem Flusse sich vorfindende Grundwasser; die Standbrunnen, Brunnen, die immer denselben Wasserstand behalten, stehen mit Flüssen, Seen oder anderen großen unterirdischen Wasserbehältern in Verbindung (der deutsche Born in Halle). Wenn zwei verschiedene Flüssigkeiten von gleichem oder verschiedenem spezifischen Gewichte, z. B. eine Kupferauflösung und Wasser, oder Alkohol und Wasser, oder eine Gummilösung und eine Zuckerlösung, durch eine dünne poröse, also durchdringliche Scheidewand, z. B. eine Blase oder ungebrannten Thon, getrennt sind, so strömen durch sie die Flüssigkeiten zu einander, wie aus ihren veränderten Eigenschaften erhellt, und dabei durchdringen sie die Scheidewand mit ungleicher Geschwindigkeit, da sich immer die eine von ihnen über ihr ursprüngliches Niveau erhebt, während die andere unter das ihrige sinkt. Dutrochet nennt diese Erscheinung Endosmose und Exosmose. Bei den Gasen findet eine ähnliche Erscheinung statt. (§ 124.)

108. Verstopft man von zwei ungleich langen kommunizirenden Röhren die kürzere, und gießt in die längere so lange Wasser, bis sie voll erscheint, so muß aus der kürzeren, wenn sie darauf geöffnet wird, das Wasser herausfließen, und zwar mit einer Geschwindigkeit, vermöge welcher es bis zum Niveau des Wassers in der längeren Röhre sich erheben könnte. Hierauf beruht die Einrichtung der hydrostatischen Springbrunnen.

Natürliche und künstliche Springbrunnen, hervorsprudelnde Quellen, Quellen am Fuße der Berge. Daß bei einem Springbrunnen der aufsteigende Strahl nicht eine der Druckhöhe gleiche Höhe erreicht, liegt an der Reibung, dem Widerstande der Luft und daran, daß das bereits herabfallende Wasser das noch aufsteigende trifft und herabdrückt. Der erste vertikale Strahl steigt daher am höchsten, etwa $^2/_3$ der zu erreichenden Höhe; daher steigt auch das Wasser höher, wenn die Ausflußöffnung so angebracht ist, daß der Strahl nicht ganz senkrecht aufsteigt und mithin das herabfallende und aufsteigende Wasser sich in entgegengesetzten Richtungen neben einander bewegen. Im Springbrunnen in Wilhelmshöhe bei Kassel springt das Wasser, welches in geneigter Ebene 250′ herabfällt, 140′ hoch, in Herrenhausen bei Hannover 120′, in Nymphenburg bei München 80′.

Die artesischen Brunnen, von der Provinz Artois wegen ihrer dortigen häufigen Anlegung so genannt, sind, oft mehrere Hundert Fuß tief, in die Erde gebohrte Löcher, die mit Röhren ausgefüllt werden, durch welche das Wasser aus dieser großen Tiefe über die Oberfläche der Erde kräftig herausströmt. Ihre Erklärung scheint hierher zu gehören. Stehen nämlich höher und tiefer liegende, mit Wasser gefüllte Höhlen mit einander in Verbindung, so muß das Wasser durch ein in den tiefer gelegenen Wasserbehälter gebohrtes Loch hervorquellen. Solche wasserreiche Höhlungen scheinen besonders häufig in Kalksteingebirgen vorzukommen.

Die Bohrquelle zu Grenelle bei Paris ist 1700′ tief, in Bruck bei Erlangen 448′; dort springt das Wasser 86′, hier aus einer zwei Zoll weiten Röhre 70′ hoch.

109. Wenn eine der kommunizirenden Röhren lang und eng ist, die andere aber kurz und weit, so kann sehr weniges Wasser einen sehr bedeutenden Druck ausüben. Wird nämlich die kürzere Röhre mit einem Deckel geschlossen, und in die längere so lange Wasser gegossen, bis nicht nur jene voll ist, sondern bis es in dieser noch höher steht, so erleidet der Deckel nothwendig einen Druck nach oben, bewirkt von derjenigen Wassermenge, welche in der längeren Röhre über dem Niveau in der kürzeren steht, da ja die weite und die enge Wassersäule bis zum Niveau der ersteren sich nach § 107 das Gleichgewicht halten. Der Deckel muß aber eben so stark hinaufgedrückt werden, als er herabgedrückt würde, wenn sich über ihn die Wassersäule der kürzeren Röhre erhöbe bis zur Höhe des Wasserstandes in der längeren. Dieser Druck nach oben ist daher gleich dem Gewichte einer Wassersäule, die zur Grundfläche die Grundfläche der kürzeren Röhre, zur Höhe aber die Differenz der Höhen der Wasserstände in den beiden Röhren hat. Nach

diesem Gesetze ist leicht einzusehen, daß der Druck nach oben in der kürzeren Röhre immer so viele Male das Gewicht der diesen Druck verursachenden Wassermenge in der längeren Röhre übertrifft, als oft die Grundfläche der weiten Röhre die der engen übertrifft, wenn die Röhren, jede für sich, überall gleiche Weiten haben; überhaupt ist der durch das Wasser fortgepflanzte Druck jedes Mal der gedrückten Fläche proportional.

Wolf's anatomischer Heber — s'Gravesand's hydrostatischer Blasebalg — Zersprengen von Zisternen, die das Regenwasser vom Dache mittelst Röhren aufnehmen — Erdfälle — Vorsicht beim Bauen des Schleußenbodens.

Vorzüglich belehrend sind hier Real's Wasserpresse (Gehler VII., Fig. 126; Real's Auflösungspresse, Extraktpresse, hydrostatische Presse) und Brahma's Wasserpresse (hydromechanische Presse). Das Wesentliche jener besteht in einem weiten, niederen Zylinder (1′ Höhe und etwa $\frac{1}{2}$′ Durchmesser), in dessen luftdicht anzulegendem Deckel senkrecht eine hohe, enge, oben trichterförmig ausgehende Röhre ($\frac{1}{2}$″ etwa im Durchmesser und 2—80′ Höhe) fest angeschraubt wird. Der Zylinder hat drei Abtheilungen, gebildet durch zwei siebartige Horizontalwände, wovon die untere fest, die obere aber beweglich ist. Die obere Abtheilung nimmt die auflösende Flüssigkeit (Wasser, Weingeist, Säure) auf, die mittlere zwischen den beiden Sieben den Körper im zerpülverten Zustande, aus welchem die Auflösung gewonnen werden soll, die untere endlich die Auflösung, welche durch einen im Boden befindlichen Hahn herausgelassen werden kann. Das auflösende Mittel wird durch den fein gepülverten festen Körper getrieben durch die Kraft des in die hohe, enge Röhre gegossenen Wassers, welches hier wie eine Presse wirkt; dieser engen Wassersäule Kraft ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche der Deckel, deren Höhe die Höhe des drückenden Wassers in der engen Röhre ist. Ist $R = 1'$, $r = 1''$, $h = 10'$, so übt die enge Wassersäule einen Druck von 2073,39 Pfund aus, während sie selbst nur $\frac{2073,39}{144} = 14,3\ldots$ Pfd. wiegt.

Das Wesentliche von Brahma's Presse (Gehler VII., Fig. 135—137) sind zwei mit einander verbundene metallene Hohlzylinder von sehr ungleichen Durchmessern. Der enge Zylinder, dessen Kolben durch einen Hebel mittelst Menschenkraft bewegt wird, wirkt als Druckpumpe; er steht mit einem Wasserbehältnisse in Verbindung, aus dem er sein Wasser durch ein nach innen sich öffnendes Ventil erhält. Aus der Druckpumpe gelangt das Wasser beim Heruntergehen des Kolbens in den weiten Zylinder durch ein in den letzteren hinein sich öffnendes Ventil; das Wasser im weiten Zylinder treibt das Druckklotz, einen massiven, genau anschließenden Zylinder, dessen oberer Theil eine zum Aufnehmen des zusammenzudrückenden Körpers bequeme Einrichtung hat, in die Höhe gegen den oberen Theil des stark gebauten Gerüstes. Mit welcher Kraft dieses geschieht, ist nach dem Vorhergehenden, wenn auf die Hindernisse der Bewegung keine Rücksicht genommen wird, leicht zu berechnen. Hat die Druckpumpe 1″ zum Radius, der weite Zylinder $1' = 12''$, so wird der Druck des Kolbens auf das Wasser in der Pumpe, im weiten Zylinder 144 Mal vergrößert. Verhalten sich nun die Hebelsarme wie 10 : 1, und wirkt an dem 10 Mal längeren Schenkel eine Menschenkraft von 50 Pfd., so geht der Kolben mit einer Kraft von 500 Pfd. herunter und das Druckklotz mit $144 \times 500 = 72{,}000$ Pfd. Kraft in die Höhe. Was hier der Hebel mit der Kraft von 50 Pfd. leistet, könnte eine Wassersäule von 1″ Radius nur bei etwa 340′ Höhe bewirken, wegen $66\, r^2 \pi h = 500$. — Anwendung von Brahma's Presse zum Pressen von Papier, Tuch, Schießpulver, zum Entwurzeln der Bäume, zur Prüfung der Haltbarkeit der Kettenglieder u. s. w.

110. Den Druck, welchen irgend eine Stelle des Bodens oder der Seitenwand eines Gefäßes von der darin befindlichen Flüssigkeit leidet, leidet auch die Flüssigkeit selbst an dieser Stelle, und dieser Druck ist die Kraft, welche die Flüssigkeit, wenn man sich die Stelle als Oeffnung denkt, heraustreibt. Mit der Höhe des Wasserstandes nimmt diese Kraft zu, mit ihr die Geschwindigkeit des herausströmenden Wassers und zugleich die Menge desselben, aber nicht so, daß etwa bei einem 2, 3, 4 Mal so hohen Wasserstande die Geschwindigkeiten und die Wassermengen in bestimmten Zeiten auch 2, 3, 4 Mal so groß wären, sondern es sind die Geschwindigkeiten und also auch jene Wassermengen 2, 3, 4 Mal so groß bei 4, 9, 16 Mal so hohen Wasserständen, d. h. bei Oeffnungen in Gefäßen verhalten sich die Geschwindigkeiten des ausfließenden Wassers, wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen, wobei nur zu merken ist, daß bei Bodenöffnungen die Entfernung des Bodens vom Wasserspiegel, bei Seitenöffnungen aber die Entfernung des Schwerpunktes der Oeffnung vom Wasserspiegel die Druckhöhe ist.

Sind in den Gefäßen A und B gleiche Bodenöffnungen, und wird in jenem das Wasser auf 4′, in diesem auf 9′ Höhe erhalten, so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie $\sqrt{4} : \sqrt{9}$ oder wie 2 : 3, d. h. fließen in A 2 K.-F Wasser heraus, so fließen in derselben Zeit aus B 3 K.-F. Dieselben Resultate erhalten wir auch, wenn diese Oeffnungen Seitenöffnungen sind, über deren Schwerpunkten das Wasser 4′ und 9′ hoch steht. Bei unveränderter Druckhöhe, aber 2, 3, 4 Mal so großen Oeffnungen wird natürlich die herausgeflossene Wassermenge 2, 3, 4 Mal so groß sein. Ist im vorigen Beispiele die Oeffnung bei B 3 Mal so groß als bei A, bleiben die Druckhöhen unverändert, so verhalten sich zwar die Geschwindigkeiten wieder wie 2 : 3, aber B wird wegen der 3 Mal größeren Oeffnung jetzt nicht 3, sondern 9 K.-F. ausgießen, während A 2 ausgießt; also die Wassermengen wie 2 : 9, — überhaupt stehen die Wassermengen bei gleichen Oeffnungen im geraden einfachen Verhältnisse der Geschwindigkeiten, aber bei ungleichen Oeffnungen im geraden zusammengesetzten Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der Größen der Oeffnungen.

111. Zwischen dem Ausfließen des Wassers aus Oeffnungen und dem freien Falle der Körper findet insofern eine Uebereinstimmung statt, als in beiden Fällen sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Höhen verhalten. Das Wasser fließt mit der Geschwindigkeit heraus, welche es durch die Druckhöhe freifallend erhalten hätte. Auch bilden die Wasserstrahlen aus Seitenöffnungen, wenn die Hindernisse der Bewegung nicht berücksichtigt werden, Parabeln (§ 75).

112. Zur Bestimmung der Ausflußmenge in einer bestimmten Zeit führt folgende Ueberlegung. Ist die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers ungeändert c, die Fläche der Oeffnung = a, so geht durch die Oeffnung in einer Sekunde ein Wasserprisma oder ein Wasserzylinder von der Grundfläche a und der Höhe c hindurch, also in einer Sekunde die Wassermasse ac, in t Sekunden die Wassermasse t . ac.

Es betrage eine Oeffnung 4 Q.-Z., die Druckhöhe werde unverändert auf 15′ erhalten; wie viele Kubikfuß Wasser fließen in jeder Sekunde heraus?

$c = 2\sqrt{gh}$ (§ 69), hier also $= 2\sqrt{(15 . 15)} = 2 . 15 = 30' = 360''$, also $a c = 4 . 360 = 1440$ K.-Z. $= \frac{5}{6}$ K.-F.

Die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers erleidet jedoch in der Wirklichkeit eine Verminderung, theils durch das Zuströmen des Wassers von der Seite, theils durch die Reibung an der Oeffnung, und daher giebt die Erfahrung immer eine kleinere Ausflußmenge, als sie nach der Theorie sein sollte. Da gleichzeitig in geringer Entfernung außerhalb der Oeffnung eine Zusammenziehung des Wasserstrahles stattfindet, so sagt man, daß die geringere Ausflußmenge eine Folge der Zusammenziehung des Wasserstrahles sei.

Durch kurze zylindrische oder konische Ansatzröhren wird die Zusammenziehung der Wasserstrahlen vermindert, und dadurch also die ausströmende Wassermenge vermehrt.

Die Kraft, mit welcher fließendes Wasser auf einen ruhenden, festen Körper senkrecht stoßend wirkt, ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche die gestoßene Fläche, deren Höhe aber die aus der Geschwindigkeit sich ergebende Fallhöhe ist. Bezeichnet daher F die gestoßene Fläche, so ist, wegen

$$h = \frac{c^2}{4g} \text{ (§ 70), diese Kraft } = \frac{F . c^2}{4g}.$$

Bei den Wasserrädern wirkt fließendes Wasser an dem Umfange derselben durch sein Gewicht oder seinen Stoß. Es giebt senkrechte und horizontale Wasserräder, und die ersteren sind unterschlächtige (Stoß auf die untern Schaufeln) oder oberschlächtige (Gewicht des Wassers in den obern Zellen oder Kasten) oder auch mittelschlächtige (Gewicht und Stoß auf die Mitte des Rades). Das in Kanälen und Röhren fortfließende Wasser erleidet durch die Reibung an den Wänden eine Verminderung der Geschwindigkeit; so fließt auch in größern Flüssen das Wasser in der Mitte schneller, als am Ufer.

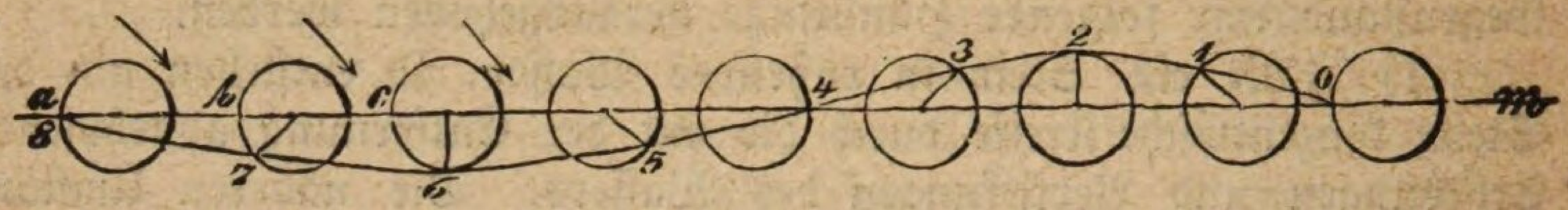
113. Die kreisförmigen Wellen, welche im Wasser und in anderen Flüssigkeiten durch den Wind, durch Stoß, durch das Hineinfallen fester Körper, durch Herausheben eines Theiles derselben oder auf irgend eine andere Art erregt werden, bestehen aus abwechselnden Erhebungen über und Vertiefungen unter der ruhenden horizontalen Oberfläche; jene heißen Wellenberge, diese Wellenthäler. Denkt man sich einen senkrechten Durchschnitt, so ist die Durchschnittslinie der senkrechten Ebene mit dem Wellenberge konvex, mit dem Wellenthale konkav gekrümmt, nach oben hin bezogen; die von diesen Bogen begrenzten Stücke der Durchschnittslinie dieser senkrechten Ebene mit der ruhenden horizontalen Oberfläche heißen die Breiten des Wellenberges und des Wellenthales, so wie die Perpendikel aus dem höchsten und tiefsten Punkte auf sie, ihre Höhen, welche jeden Berg und jedes Thal in das Vorder- und Hintertheil theilen, von denen jenes immer auf der Seite liegt, wohin die Wellenbewegung geht. Die Höhe der Welle ist die Summe aus den Höhen des Berges und des Thales, so wie die Breite oder Länge der Welle die Summe aus den Breiten ihrer beiden Theile. Auf einer in der bewegten Flüssigkeit und zwar in der Richtung der Bewegung senkrecht gestellten,

mit Staub bestreuten Schiefertafel bildet sich die Gestalt der Wellen ab; die Vordertheile zeigen sich dabei stärker gekrümmt. Hier können aus den gründlichen Untersuchungen der Gebrüder Weber über diesen Gegenstand nur folgende Hauptsätze herausgehoben werden.

1) Fällt ein Stein in ruhendes Wasser, so entstehen um diese Stelle konzentrische Kreise durch die mit der Entfernung abnehmenden Erhebungen und Vertiefungen des Wassers. Die näheren Umstände dabei sind folgende: Die vom Steine getroffene Stelle vertieft sich, das Wasser erhebt sich um diese Vertiefung zu einem kreisförmigen Walle, senkt in Folge der Schwere sich wieder, aber zwei Wellen bildend, von denen die eine, sich nach außen bewegend, eine größere Kreiswelle, die andere aber, sich nach innen gleichsam zusammenziehend, im Mittelpunkte einen Hügel bildet. Dieser Wasserhügel fließt darauf nach allen Seiten ab und ist die Veranlassung zu neuer Wellenbildung, was sich noch einige Male wiederholt, wenn die Wellen dabei auch immer schwächer werden. Die Ruhe tritt nach und nach ein, vom Mittelpunkte ausgehend; ist nämlich im Mittelpunkte Ruhe eingetreten, so sieht man durch die letzte schwache Welle, indem sie fortschreitet, neue Wellen hervorbringen an denjenigen Stellen, welche sie verlassen hat, die aber nicht mehr nach innen zurückgehen, sondern sich nur nach außen fortbewegen. Indem nun so die Wellen zurückwirken, muß nothwendig jede Welle von der ihr unmittelbar vorangehenden vergrößert werden. Die Fortpflanzung der Wellen beruht hiernach lediglich auf der Schwere.

2) Treffen im ruhenden Wasser erzeugte Wellen auf schwimmende Körper, so heben und senken sich diese abwechselnd, je nachdem unter ihnen abwechselnd Wellenberge und Wellenthäler entstehen, erhalten aber keine fortschreitende Bewegung — ein Beweis, daß die Flüssigkeit selbst nicht mit fortschreitet. Die Wellenbewegung der Oberfläche wird nur hervorgebracht durch die Rotation der Flüssigkeitstheilchen, von denen jedes folgende später zu rotiren anfängt, als das vorhergehende, und zwar in Bahnen, welche in der Richtung der Bewegung und in, auf der Oberfläche senkrechten, Ebenen liegen. Das Vorhandensein dieser Bahnen, so wie ihre Größe und Gestalt, haben die Gebrüder Weber durch Beobachtung der Bewegung von Bernsteinstückchen, welche bei gleichem spezifischen Gewichte mit dem Wasser in dasselbe gelegt worden waren, bestimmt. Diese Körperchen bewegten sich auf der Oberfläche des Wassers in Kreisen, unter derselben in Ellipsen, die mit der zunehmenden Tiefe immer niedriger wurden, so daß sie endlich nur in geraden Linien vorwärts und rückwärts gingen, was noch in einer Tiefe, die das 350fache der Höhe der Welle ist, stattfand. Die Krümmung der Welle ist die Verbindungslinie der Orte sämmtlicher in der Länge der Welle rotirenden Wassertheilchen, welche in demselben Augenblicke sich in verschiedenen Punkten ihrer Kreisbahnen befinden, was Figur 40 deutlich machen soll, wo sich auf der Breite der Welle beispielsweise acht auf einander folgende Wasser-

theilchen befinden mögen, welche nach einander in der Richtung der Pfeile zu rotiren anfangen. Denken wir uns jede Bahnlinie in acht gleiche Theile getheilt, und die Wassertheilchen in solcher Entfernung



Figur 40.

von einander auf der Oberfläche a m, daß, indem das erste von a ausgehende eine ganze Bahn, also alle acht Theile, das zweite von b ausgehende erst sieben Theile, das dritte von c ausgehende erst sechs Theile ꝛc. zurückgelegt hat, so muß hiernach die Welle die durch die Ziffern 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 angegebene Form haben. Hieraus folgt zugleich: 1) daß die Zeit, welche die Welle braucht, in ihrer ganzen Länge fortzuschreiten, gleich ist der Zeit, in welcher jedes Theilchen Einen Umlauf oder Eine Oszillation vollendet, oder auch: während Ein Theilchen Eine Oszillation zurücklegt, schreitet die Welle um eine Wellenlänge fort; 2) daß die Höhe der Welle gleich ist dem senkrechten Durchmesser der Bahn eines Wassertheilchens.

Flüssigkeitstheilchen, welche bei der Wellenbewegung um eine ganze Wellenlänge, z. B. die Gipfel zweier benachbarter Wellenberge oder die tiefsten Punkte zweier benachbarter Wellenthäler u. s. w., von einander entfernt sind, befinden sich in einem gleichen Schwingungszustande; diejenigen dagegen, welche nur um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, im entgegengesetzten, z. B. der Gipfel eines Wellenberges und der tiefste Punkt des benachbarten Wellenthales.

3) Ist das Wasser fließend, so bewegt sich der Mittelpunkt mit seinen konzentrischen Wellen mit der Geschwindigkeit des Wassers vorwärts, was man an einem in fließendes Wasser geworfenen Stücke Holz, welches immer im Mittelpunkte der konzentrischen Wellen bleibt, deutlich sieht. — In schmalen viereckigen langen Gefäßen sieht man Bogenwellen statt der Kreiswellen.

4) Die Höhe, Länge und Geschwindigkeit der Wellen hängt von der Stärke des sie veranlassenden Stoßes ab, wohl auch von der Tiefe der Flüssigkeit. Die Geschwindigkeit der nachfolgenden Wellen wird entweder größer oder kleiner oder bleibt unverändert dieselbe, je nachdem der Raum sich verengt, erweitert oder zwischen parallelen Wänden eingeschlossen ist. Beispiele dafür sind die Wellen, welche aus einem Teiche in einen sich verengenden Kanal gehen; Wellen, welche in der Mitte eines Teiches, und endlich solche, welche in, mit parallelen Wänden versehenen, Kanälen erregt werden.

5) Werden zwei Wellensysteme erregt, indem man z. B. zwei Steine in einiger Entfernung von einander ins Wasser fallen läßt, so begegnen sich diese Wellensysteme und die einzelnen Wellen derselben durchkreuzen einander gegenseitig, wobei zwei Berge oder zwei Thäler oder endlich ein Berg und ein Thal zusammentreffen können. Haben die einander durchkreuzenden Wellen gleiche Höhen, so entsteht im ersten Falle ein Berg von fast doppelter Höhe, im zweiten ein

Thal von fast doppelter Tiefe, und nach der Durchkreuzung trennen sich die beiden Berge oder die beiden Thäler und gehen ohne Störung weiter; im dritten Falle findet eine Ausgleichung statt in der horizontalen Oberfläche. Wenn daher in einem Gefäße an zwei solchen Orten Wellen erregt werden, daß zwei Arten unter sich paralleler Wellen entstehen, so muß es auf der Oberfläche der Flüssigkeit drei Arten von Stellen geben, solche, wo a) wegen des Zusammentreffens zweier Berge, Berge von doppelter Höhe, b) wegen des Zusammentreffens zweier Thäler, Thäler von doppelter Tiefe, und c) wegen des Zusammentreffens von Berg und Thal, mit der ruhenden Oberfläche zusammenfallende Ebenen entstehen. Diese letztere Erscheinung heißt die Interferenz der Wellen.

6) Wellen werden von einer festen Wand wie elastische Körper zurückgeworfen, so daß der Zurückwerfungswinkel gleich ist dem Einfallswinkel. Wellenstrahl — der einfallende und der zurückgeworfene Wellenstrahl — Einfallsloth.

7) Wenn eine Kreiswelle auf eine senkrechte oder schiefe Ebene mit einer Oeffnung trifft, so werden die Enden des durch die Oeffnung gehenden Wellenbogens von ihrer fortschreitenden Bewegung so abgelenkt, daß sie in Bogen um die Wände sich herumbiegen. Diese Erscheinung hat den Namen Beugung der Wellen erhalten, und zeigt sich z. B. auch bei den Wirbeln, welche zu beiden Seiten eines Brettes entstehen, welches so gestellt ist, daß daranstoßendes Wasser rechts und links abfließen kann.

8) Werden in einem Gefäße mit senkrechten Wänden in regelmäßig wiederkehrenden Zeitabschnitten an derselben Stelle der Flüssigkeit Wellen erregt, z. B. im Quecksilber durch Eintauchen eines Körpers, so müssen sich reflektirte Wellen mit noch nicht reflektirten begegnen, und es erfolgen nach gewissen Zeitabschnitten durch das Zusammentreffen von Berg mit Berg, Thal mit Thal, und Berg mit Thal, an denselben Stellen dieselben Wellenerscheinungen, indem sich aus einem Thale von doppelter Tiefe eine Ebene, aus dieser ein Berg von doppelter Höhe, aus diesem eine Ebene u. s. w. an demselben Orte bildet. Solche Wellen nennt man stehende Wellen, und die unveränderlichen Grenzen der Berge und Thäler: Schwingungsknoten.

Weber's Wellenrinnen.

114. Werden mehrere Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte in dasselbe Gefäß gegossen, so ordnen sie sich so übereinander, daß sie, von unten nach oben betrachtet, am spezifischen Gewichte abnehmen.

Elementarwelt, deren Flüssigkeiten gewöhnlich Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol, Steinöl sind. Die Kunst, Wasser in Wein zu verwandeln, mittelst des sogenannten Passevin, der aus zweien durch eine enge Röhre verbundenen hohlen Glaskugeln besteht, die sich senkrecht übereinander befinden, und von denen die untere mit Wasser, die obere aber mit etwas spezifisch schwererem, rothen Wein gefüllt ist.

115. Wird ein fester Körper auf einen flüssigen gethan, so kann die Erscheinung dreifacher Art sein: je nachdem er von demselben, von größerem oder von kleinerem spezifischen Gewichte als die Flüssigkeit ist.

1) Hat der feste Körper mit der Flüssigkeit dasselbe spezifische Gewicht, so sinkt er, auf sie gelegt, so lange, bis seine Oberfläche genau in das Niveau fällt, so wie er auch an jeder Stelle in der Flüssigkeit ruhen oder schweben könnte. Die Wassersäule, auf welcher er ruht, trägt sein ganzes Gewicht, so wie sie vorher den eben so großen und eben so schweren, durch ihn verdrängten Wasserkörper trug; und da in Bezug auf eine Waage oder überhaupt auf eine haltende Kraft das Gewicht des festen Körpers in diesem Falle als gar nicht vorhanden zu betrachten ist, so sagt man: Ein fester Körper verliert sein ganzes absolutes Gewicht, wenn er in eine Flüssigkeit von gleichem spezifischen Gewichte gebracht wird.

Eine gleichförmig durchgearbeitete Masse aus einem Gewichtstheile fein gepulverten Zinnobers und 226 Gewichtstheilen weißen Wachses hat mit dem Wasser gleiches spezifisches Gewicht; es schwebt daher ein Körper aus dieser Masse im Wasser an jeder beliebigen Stelle.

2) Ist der feste Körper spezifisch schwerer, als die Flüssigkeit, so sinkt er, auf sie gelegt, zu Boden, aber nicht mit seinem ganzen Gewichte, sondern nur mit einem Theile. Es wird nämlich durch die unter ihm sich befindende Flüssigkeitssäule von seinem Gewichte so viel getragen, als die durch ihn verdrängte Flüssigkeit wiegt; er sinkt mithin mit der Differenz zwischen seinem Gewichte und dem einer Flüssigkeitsmenge desselben Volumens herab; man sagt daher: Jeder feste Körper, in eine spezifisch leichtere Flüssigkeit eingetaucht, verliert von seinem absoluten Gewichte so viel, als die durch ihn verdrängte Flüssigkeit wiegt.

In einer und derselben Flüssigkeit verliert ein großer Körper von seinem Gewichte mehr, als ein kleiner; so wie ein und derselbe Körper, in verschieden schwere Flüssigkeiten gethan, verschieden große Gewichtsverluste erleidet, und zwar einen desto größeren, je schwerer die Flüssigkeit ist. — Ein Mensch kann im Wasser eine größere Last tragen, als in der Luft. — Man kann im Wasser Steine oft bis an, aber nicht über die Wasseroberfläche heben. — Ein Hund kann einen ins Wasser gefallenen Menschen retten, indem er ihn bis ans Ufer zieht.

Das Untersinken fester Körper in flüssigen befolgt die Gesetze der in der Luft frei fallenden, nur daß die flüssigen einen größeren Gegendruck als die luftförmigen äußern, und zwar einen desto größeren, je spezifisch schwerer sie sind; weshalb also die festen Körper im Wasser langsamer als in der Luft fallen.

3) Wird endlich ein fester Körper auf eine spezifisch schwerere Flüssigkeit gelegt, so taucht er nur zum Theil ein, und zwar desto weniger, je schwerer sie ist. Er taucht immer so weit ein, daß die durch seinen eingetauchten Theil verdrängte Flüssigkeit so viel wiegt, als sein ganzes Gewicht beträgt; man sagt daher: Ein fester Kör-

per, in eine spezifisch schwerere Flüssigkeit gebracht, verliert sein ganzes absolutes Gewicht und muß noch in die Höhe steigen, d. h. schwimmen. Soll ein solcher Körper zum Untersinken gebracht werden, so muß er mit Körpern, die spezifisch schwerer als die Flüssigkeit sind, so verbunden werden, daß das Ganze mehr wiegt, als die Flüssigkeit von demselben Raumumfange.

Man kann auf das Verhältniß des spezifischen Gewichtes verschiedener Flüssigkeiten schließen aus der Größe des Eintauchens eines und desselben festen Körpers, der spezifisch leichter ist, als jede von ihnen. Holz sinkt im Weingeist unter, schwimmt im Wasser, ruht auf Quecksilber. — Durch die hydrostatische Waage, die an den unteren Flächen der Waageschalen Häkchen zum Aufhängen fester Körper mittelst Fäden hat, läßt sich diese dreifache Erscheinung in (1), (2) und (3) zeigen. Ein Kubikzoll aus mehreren verschieden spezifisch schweren Körpern so zusammengesetzt, daß er mit Wasser spezifisch gleich schwer wird, also $^{66}/_{1728}$ Pfd. alten Gewichtes = $1^2/_9$ Loth wiegt, wird in der Luft mit $1^2/_9$ Loth, im Wasser (d. h. durch Eintauchung des festen Körpers in Wasser) durch Wegnahme dieses Gewichtes ins Gleichgewicht gesetzt. Ein Kubikzoll Eisen, dessen spezifisches Gewicht 7 ist, wird in der Luft mit $7 . 1^2/_9$ Loth, im Wasser mit $6 . 1^2/_9$ Loth; aber ein Kubikzoll einer Materie, deren spezifisches Gewicht $^1/_2$ ist, wird in der Luft mit $^{11}/_{18}$ Loth, im Wasser durch Wegnahme dieses Gewichtes ins Gleichgewicht gebracht, wobei im letzteren Falle der Körper zur Hälfte einsinkt.

116. Nur ein spezifisch leichterer Körper als Wasser schwimmt auf diesem von selbst. Aber auch spezifisch schwerere Körper können zum Schwimmen gebracht werden, wenn ihnen eine solche Form durch Aushöhlung gegeben wird, daß sie weniger wiegen, als Wassermengen desselben Volumens; oder wenn man sie mit so bedeutend spezifisch leichteren Körpern verbindet, daß im Ganzen die verbundenen Körper weniger als eine Wassermenge von demselben Raume wiegen.

Hohle blecherne oder gläserne, wohlzugepfropfte Kugeln, Fässer und Flaschen schwimmen auf dem Wasser. — Schiffe von Eisen; Kähne, Rettungsboote, Schwimmgürtel. — Für die See gehörig belastete Schiffe müssen zum Theil entlastet werden, wenn sie in einen Fluß fahren, und die für das spezifisch leichtere Flußwasser gehörig belasteten Schiffe können, wenn sie in die See fahren, noch Last aufnehmen. Leichname, welche durch die bei der Fäulniß sich entwickelnden Luftarten aufgetrieben werden, schwimmen; ein Ei, welches in reinem Wasser zu Boden sinkt, steigt in die Höhe und schwimmt, wenn das Wasser durch Auflösung hineingeworfenen Salzes (in der Lauge) hinlänglich verdichtet worden ist. — Man muß künstliches oder aktives und natürliches oder passives Schwimmen von einander unterscheiden. Dieses hängt nur vom spezifischen Gewichte, jenes aber vom spezifischen Gewichte, von der Bewegung des Körpers und dem Widerstande des Wassers ab. Das spezifische Gewicht des Menschen ist im Durchschnitt 1,06. Kork, Blasen u. s. w. an den menschlichen Körper gebunden, Einathmen der Luft, können ihn über dem Wasser erhalten; Manche können ruhig auf dem Rücken liegend schwimmen; im Seewasser ist es leichter zu schwimmen, als im Flußwasser. Der Neapolitaner Paolo Moccia, welcher in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts lebte, sank im Meerwasser (1,029 sp. Gew.) nur bis in die Mitte der Brust ein.

117. Da das Verhältniß der absoluten Gewichte zweier Körper von gleichem Volumen auch das Verhältniß ihrer spezifischen Gewichte ist, so läßt sich zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Körper eine Proportion aufstellen, und aus derselben eine immer an=

wendbare Regel ableiten. Nennen wir nämlich das absolute Gewicht des zu prüfenden Körpers a, das des Wassers von gleichem Volumen A, das gesuchte spezifische Gewicht des Körpers aber x, und nehmen wir das des Wassers als Einheit an, so steht:

$$A : a = 1 : x, \text{ also } x = \frac{a}{A},$$

d. h. das spezifische Gewicht eines Körpers findet man, wenn man sein absolutes Gewicht dividirt durch das absolute Gewicht eines eben so großen Wasserkörpers. Hiernach besteht die Bestimmung des spezifischen Gewichtes eines Körpers in der Angabe, wie viele Mal er schwerer oder leichter ist, als Wasser desselben Volumens. (§ 24.)

Das Wasser muß vollkommen rein sein und eine bestimmte Temperatur haben; gewöhnlich nimmt man die Temperatur der größten Dichtigkeit des Wassers, d. i. $+4^{\circ}C = 3{,}2^{\circ}R.$, oder die mittlere Temperatur von $+14^{\circ}R.$ als Normaltemperatur an. Das spezifische Gewicht der Körper, welche schwerer als Wasser sind, wird gewöhnlich durch Decimalbrüche ausgedrückt. — Tabelle § 121.

118. Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper insbesondere merken wir nur folgende Hauptfälle:

1) Ist der feste Körper im Wasser unauflöslich, so bedient man sich des Wassers unmittelbar, unterscheidet aber zwei Fälle, nämlich:

a) Der feste Körper sinkt im Wasser unter. Sein absolutes Gewicht wird durch Abwägen in der Luft bestimmt, das absolute Gewicht des Wassers von gleichem Volumen dagegen, indem mittelst einer hydrostatischen Waage des festen Körpers Gewichtsverlust im Wasser bestimmt wird. Ist das geschehen, so setzt man nach § 117

$$\text{das spez. G. d. f. K.} = \frac{\text{seinem abs. G.}}{\text{seinen Gv. im W.}}$$

Es sei z. B.

Gw. eines Stückes Zinnober in der Luft	8352 Gran,
Gw. desselben im Wasser	7287 „
also Gewichtsverlust	1065 „

mithin sein sp. Gw. $= \frac{8352}{1065} = 7{,}842$ ....

b) Der feste Körper schwimmt auf dem Wasser. Man bringt ihn zum Sinken, indem man ihn mittelst eines Metallfadens an ein Stückchen Metall bindet oder in eine metallene Klemme befestigt. Man bestimmt sein absolutes Gewicht, dann das des Metalles und des Fadens zusammen, dann dieser beiden Gewichtsverlust im Wasser, und endlich den Gewichtsverlust aller drei mit einander verbundenen Körper. Der Unterschied zwischen dem Gewichtsverluste aller drei Körper und dem des Metalles und des Fadens zusammen ist der Gewichtsverlust des zu untersuchenden Körpers. Das Uebrige ist aus (a) bekannt.

Pulverförmige Körper werden in kleinen Uhrschalen gewogen. — Ein Wasser einsaugender Körper, z. B. Sandstein, wird zuerst in der Luft gewogen (z. B. 400 Gran), darauf wird er in Wasser gelegt und wenn er

gesättigt ist, wieder in der Luft gewogen (480 Gran), woraus sich ergiebt, wie viel Wasser er aufgenommen hat (80 Gran); hierauf wird der Gewichtsverlust des mit Wasser gesättigten festen Körpers im Wasser bestimmt und von demselben das Gewicht des aufgenommenen Wassers abgezogen (170 — 80 = 90), wodurch man den Gewichtsverlust des gegebenen Körpers findet und dann sein spezifisches Gewicht $\left(\frac{400}{90} = 4,4 \ldots\right)$.

2) Ist aber der feste Körper in Wasser auflöslich, wie Salz, so nimmt man statt des Wassers eine andere Flüssigkeit, die den festen Körper nicht auflöset, und deren spezifisches Gewicht bekannt ist; bestimmt darin den Gewichtsverlust des festen Körpers und berechnet daraus den Gewichtsverlust im Wasser nach dem Satze: Die Gewichtsverluste desselben Körpers in zwei Flüssigkeiten von verschiedenen spezifischen Gewichten verhalten sich zu einander, wie die spezifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten. Das übrige Verfahren bleibt ungeändert. Es sei:

Gewicht eines Stückchens Steinsalz in Luft	100	Gran.
„ „ „ „ „ Alkohol	59,59	„
also Gewichtsverlust in Alkohol	40,41	„
spezifisches Gewicht des Alkohols	0,866	„

Man setzt nun: 0,866 : 1,000 = 40,41 : x,

$$\text{also } x = \frac{40,41}{0,866} = \frac{40410}{866} = 46,6 = \text{Gv. in W.},$$

also:

$$\text{spez. Gew. des Steinsalzes} = \frac{100}{46,6} = 2,145 \ldots .$$

119. Das spezifische Gewicht flüssiger Körper läßt sich auf zwei Arten leicht bestimmen:

a) Ein Fläschchen mit einem gut eingeriebenen Stöpsel, dessen absolutes Gewicht bekannt ist, wird ein Mal mit Wasser, das andere Mal, nachdem es möglichst gut ausgetrocknet worden, mit der gegebenen Flüssigkeit gefüllt, in beiden Fällen gewogen, und jedes Mal vom ganzen Gewichte das des Fläschchens abgezogen. Man erhält hierdurch die absoluten Gewichte gleicher Volumen von Flüssigkeiten, und das Gewicht der gegebenen Flüssigkeit dividirt durch das des Wassers giebt nach § 117 das gesuchte spezifische Gewicht.

Tausendgran-Fläschchen und Fünfhundertgran-Fläschchen vereinfachen sehr das Verfahren.

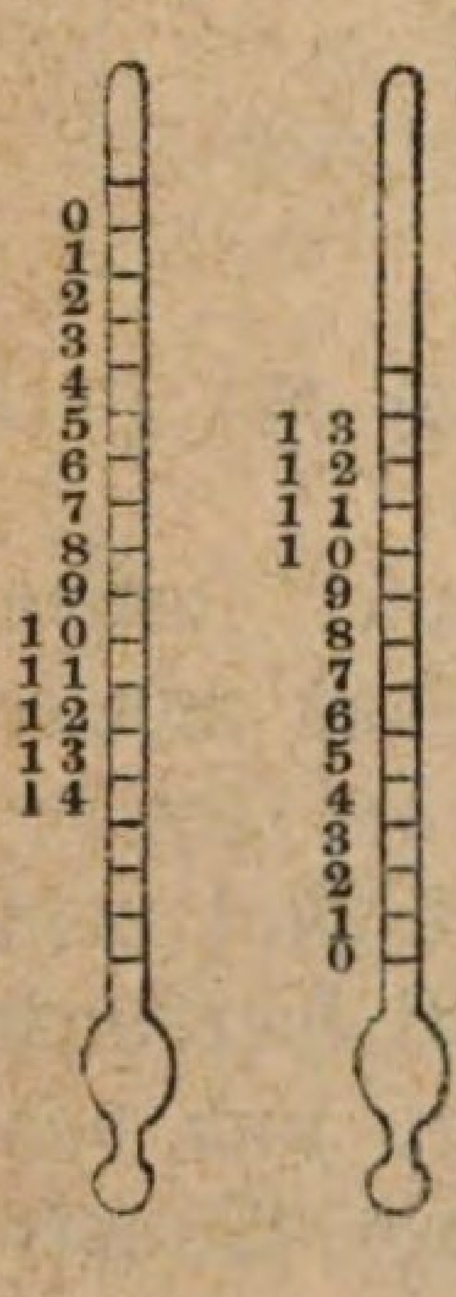
b) Auch kann man die Gewichtsverluste eines und desselben festen Körpers im Wasser und in der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmen; sie geben die absoluten Gewichte gleicher Volumen beider Flüssigkeiten an, und daher ist das gesuchte spezifische Gewicht gleich dem Gewichtsverluste in der gegebenen Flüssigkeit, dividirt durch den Gewichtsverlust im Wasser.

120. Bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes luftförmiger Körper verfährt man mit einem gläsernen Ballon, der zuerst, nachdem er durch die Luftpumpe möglichst luftleer gemacht worden ist;

allein, sodann mit der gegebenen Gasart und endlich mit Wasser gefüllt, genau gewogen wird, im Allgemeinen so, wie in § 119 mit dem Fläschchen. Um zuverlässige Bestimmungen zu erhalten, müssen die Gasarten im reinen und von Wasserdampf völlig befreiten Zustande gebraucht und bei der Berechnung muß auf die im Ballon noch zurückgebliebene Luft Rücksicht genommen werden. Nach Arago und Biot ist das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft bei Null Grad Temperatur und einem Barometerstande von 28 Zoll $\frac{1}{779} = 0{,}0013$, so daß also ein Kubikfuß atmosphärischer Luft etwa $2^3/_4$ Loth wiegt; gewöhnlich wird aber bei der Angabe des spezifischen Gewichtes der Luftarten das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen, also $= 1$ gesetzt.

121. Die Aräometer oder Senkwaagen sind Instrumente, die man zur Bestimmung der spezifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper braucht. Sie gründen sich auf den Satz, daß ein schwimmender Körper in einer Flüssigkeit desto tiefer einsinkt, je spezifisch leichter diese ist, jedes Mal aber so tief, daß das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich ist dem Gewichte des Körpers. Es giebt deren zwei Hauptklassen, nämlich Aräometer mit Skalen und Aräometer mit Gewichten.

Figur 41.



1) Die Aräometer mit Skalen (Figur 41) sind nur bei flüssigen Körpern anwendbar und so eingerichtet, daß sie entweder blos bei Flüssigkeiten, die schwerer; oder blos bei Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind, gebraucht werden. Die der ersten Klasse haben eine herabwärts gehende Skale; im reinen Wasser sinkt das Aräometer fast ganz ein, daher oben der Nullpunkt der Skale, und je schwerer die Flüssigkeit ist, desto weniger tief taucht es ein.

Bierwaagen, Laugenwaagen, Soolwaagen u. s. w. Mit dem zunehmenden spezifischen Gewichte nimmt auch die Güte der Flüssigkeit zu.

Die der zweiten Klasse haben eine aufwärts gehende Skale; im reinen Wasser sinkt ein solches Aräometer am wenigsten tief ein, daher unten der Nullpunkt der Skale, und je leichter die Flüssigkeit ist, desto tiefer taucht es ein.

Branntweinwaagen, Oelwaagen, Alkoholwaagen u. s. w. Mit dem zunehmenden spezifischen Gewichte nimmt die Güte der Flüssigkeit ab.

Unter den Aräometern mit herabwärts gehender Skale sind besonders merkwürdig die Salzspindeln. Sie geben eigentlich nicht das spezifische Gewicht, sondern den Gehalt des Wassers an Salz an. Die Skale erhält man durch Eintauchung des Aräometers in Mischungen von Salz und Wasser, z. B. von 1 Theile Salz und 9 Theilen Wasser, von 2 Theilen Salz und 8 Theilen Wasser u. s. w. Auf gleiche Weise verdienen von den Aräometern mit aufwärts gehender

Skale herausgehoben zu werden die Alkoholometer, welche den Gehalt an Weingeist (Alkohol) in einer Mischung von Alkohol und Wasser angeben. Auch hier entsteht die Skale wie bei den Salzspindeln. Diese Mischungen werden theils nach Gewichten, theils nach dem Volumen oder dem Umfange der Ingredienzen gebildet. Richter's Alkoholometer ist ein Gewichtsprozenten-Aräometer, Tralles' Alkoholometer dagegen ist ein Umfangsprozenten-Aräometer.

2) Das Nicholson'sche Aräometer (Figur 42) ist ein Gewichtsaräometer und wird gebraucht: a) zur Bestimmung des absoluten Gewichtes kleiner fester Körper; b) zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper; c) zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes flüssiger Körper, wozu folgende kurze Erläuterungen.

Figur 42.



Zu a. Bringen 1000 Gran das Instrument in die Richte, d. h. zum Einsenken im Wasser bis zu der in dem Drahte, welcher das obere Schälchen mit dem Zylinder verbindet, durch einen Einschnitt bezeichneten Stelle und muß man zu dem auf dem Schälchen liegenden festen Körper 400 Gran legen, um das Instrument in die Richte zu bringen, so ist das absolute Gewicht des auf das Schälchen gelegten festen Körpers $= 1000 - 400 = 600$ Gran.

Zu b. Man bestimmt des Körpers absolutes Gewicht, wie jetzt gezeigt wurde, durch Abwägung in der Luft, hierauf bestimmt man seinen Gewichtsverlust im Wasser, indem er in das untere Eimerchen gelegt und das Instrument von neuem in die Richte gebracht wird. Das, was man mehr zulegen muß, als wenn der Körper im Schälchen liegt, ist der Gewichtsverlust. Des Körpers absolutes Gewicht, dividirt durch diesen Gewichtsverlust, ist sein spezifisches Gewicht.

Zu c. Das Gewicht des Instrumentes plus dem Gewichte, wodurch es in die Richte gebracht wird, ist das absolute Gewicht der Flüssigkeit vom Volumen des Aräometers bis zu dem bezeichneten Punkte. Wird das Instrument, welches etwa 6000 Gran wiegt, im Wasser mit 1000, in einer anderen leichteren Flüssigkeit mit 800 Gran in die Richte gebracht, so ist dieser Flüssigkeit spezifisches Gewicht

$$= \frac{6000 + 800}{6000 + 1000} = \frac{6800}{7000} = \frac{68}{70} = \frac{34}{35} = 0{,}97\ \ldots$$

Tabelle über das spezifische Gewicht einiger oft vorkommenden Körper.

Iridium (platinhaltiges) . . .	21,83	Gold, gegossen	19,253
Platina, gehämmert	21,25	Quecksilber, gefroren	14,391
— geschmolzen	20,855	bei 0 R.	13,619
Gold, gehämmert	19,36	— + 12 R. . . .	13,58

Quecksilber bei + 80 R.	13,375	Mahagoniholz	1,063
Blei	11,445	Pflaumenholz	0,785
Bleiglanz	7,585	Birnbaumholz	0,661
Silber, gehämmert	10,622	Lindenholz	0,604
— gegossen	10,414	Pappelholz	0,383
Kupfer, gehämmert	8,9	Korkholz	0,240
— gegossen	8,7267	Meerwasser	1,02—1,04
Stahl	7,795	Schwefelsäure	1,9546—1,8450
Eisen, geschmiedet	7,6	Salpetersäure	1,522
— gegossen	7,5	Salzsäure	1,2109
Zink, gehämmert	7,861	Essigsäure	1,0630
— gegossen	7,213	Baumöl	0,919
Zinn, gehämmert	7,475	Absoluter Alkohol	0,792
— gegossen	7,295	Schwefeläther	0,7155
Eichenkernholz	1,170		

Nehmen wir das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft, nämlich 0,0013 nach § 120, als Einheit an, so ist das

des Sauerstoffgases	1,1026
„ Wasserstoffgases	0,0688
„ Stickstoffgases	0,9706
„ kohlensauren Gases	1,524
„ Wasserdampfes bei + 80° R.	0,6235.

Fünfter Abschnitt.

Von den luftförmigen Körpern.

122. Die luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die **Schwere**, vermöge welcher sie einen Druck ausüben, und die **leichte Verschiebbarkeit** ihrer Theile, folglich auch die von diesen Eigenschaften abhängenden Erscheinungen gemeinschaftlich; sie besitzen aber außerdem noch einen hohen Grad von **Zusammendrückbarkeit** und **Ausdehnsamkeit**, und dadurch Erscheinungen, die bei jenen nicht vorkommen.

Wären die Theile der Luft nicht leicht verschiebbar, so könnten wir nicht so leicht in ihr gehen. — Eine mit Luft gefüllte gläserne oder metallene Hohlkugel wiegt mehr, als wenn sie mit der Luftpumpe möglichst leer gemacht wird. — Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn man ein gewöhnliches Bierglas umkehrt und senkrecht zum Theil oder ganz unter Wasser bringt, und dann losläßt, sind Folgen der Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der im Glase eingeschlossenen Luft — Luftbetten, Luftpolster, Taucherglocke.

Die atmosphärische Luft, hier Luft schlechtweg genannt, ist der Repräsentant der luftförmigen, wie es im vorigen Abschnitte das Wasser in Bezug auf die flüssigen Körper war.

123. Je mehr die Luft zusammengedrückt wird, desto dichter wird sie, und je dichter sie ist, desto ausdehnsamer; es wächst mithin mit der Zusammendrückung sowohl die Dichtigkeit, als auch die Ausdehnsamkeit. Mariotte (1676) und Boyle (1660) fanden das Gesetz: Die Dichtigkeiten der Luft stehen im geraden Verhältnisse der zusammendrückenden Kräfte, oder was dasselbe ist: Die Räume derselben Menge Luft stehen im umgekehrten Verhältnisse der zusammendrückenden Kräfte.

Auch die Wärme ändert die Dichtigkeit und Ausdehnsamkeit der Luft, daher das Mariotte'sche Gesetz nur von Luft von beständiger Temperatur gilt.

124. Verschiedenartige Luftarten, welche chemische Verbindungen nicht eingehen, von verschiedenen spezifischen Gewichten, zu einander gethan, ordnen sich, wie Dalton und Berthollet gefunden haben, nicht nach ihren spezifischen Gewichten, wie flüssige Körper (§ 114) über einander, sondern es dehnt sich jede für sich aus, als wären die anderen nicht vorhanden, so daß an jeder Stelle alle Luftarten angetroffen werden. Auch fand Graham, daß solche Gase sich selbst durch die Poren fester Körper, durch welche sie getrennt werden, z. B. durch Gypsschichten, mengen: welche Erscheinung die Diffusion der Gase genannt wird; daher entweichen Gasarten durch Gypsstöpsel, so wie durch zersprungene Flaschen. (§ 107.)

125. Die Luft übt, wie die flüssigen Körper, nicht nur einen Druck herabwärts und seitwärts aus, sondern weil die zusammengedrückte Luft mit einer ihrer Dichtigkeit proportionalen Kraft sich auszudehnen strebt, auch aufwärts, mithin nach allen Seiten; es nimmt daher der Druck in der Atmosphäre von oben nach unten und mit ihm die Dichtigkeit der Luft zu, ist in einer horizontalen Schicht beim Zustand der Ruhe überall gleich; es muß auch im Innern von Gebäuden die Luft eben so stark zusammengedrückt, eben so dicht sein und eben so stark nach allen Seiten drücken, als die Luft draußen in derselben Höhe von der Erde. Der von der Luft ausgeübte Druck kann sich aber nur dann durch seine Wirkung sichtbar zeigen, wenn entweder auf der einen Seite eines Gegenstandes die Luft ganz weggeschafft ist, oder wenn auf den entgegengesetzten Seiten desselben sich verschieden dichte Luftmassen befinden. Man sagt auch: Der Druck der Luft muß einseitig, d. h. nur von einer Seite wirken, wenn er bemerkt werden soll.

Auf dem nach allen Richtungen stattfindenden Luftdrucke, so wie auf der Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der Luft beruhen sehr viele Erscheinungen und physikalische Instrumente, z. B. die Erscheinungen, daß ein volles Glas Wasser, mit einem Blatte Papier bedeckt, umgekehrt werden kann, ohne daß das Wasser ausfließt; daß das Wasser aus Gefäßen mit engen Oeffnungen, wie das Bier aus einem Fasse, dessen Spundloch zu ist, wenn auch der Zapfen herausgezogen ist, nicht herausfließt; daß die Luft in jeden leeren oder

dünnere Luft enthaltenden Raum, z. B. in den Blasebalg, eindringt; ferner das Athmen, Saugen, Trinken, Rauchen u. s. w. Instrumente, wie: Der Zaubertrichter, der Zauberbrunnen, der Stechbecher, die Pipette, der Heber, der Vexirbecher, das Barometer, die Saugpumpe, die Kompressionspumpe, die Windbüchse, das Blaserohr, der Heronsball, der Heronsbrunnen, die Feuerspritzen, das Kartesianische Teufelchen, die Luftpumpe u. s. w. Von diesen Instrumenten werden hier nur die wichtigsten, die zugleich die meiste Belehrung gewähren, herausgehoben.

126. Der Toricelli'sche Versuch. Wird eine etwa 30 Zoll lange, nur an einem Ende geschlossene Röhre mit Quecksilber vollgefüllt, hierauf das offene Ende mit einem Finger geschlossen, die Röhre umgekehrt, und nun mit dem offenen Ende senkrecht in Quecksilber, welches sich in einem Gefäße befindet, getaucht, und endlich der Finger unter der Quecksilberoberfläche weggezogen, so sieht man das Quecksilber in der Röhre nur um etwa 2 Zoll sinken, so daß es noch die Höhe von 28 Zoll behält. Der von der Luft auf das Quecksilber im Gefäße ausgeübte und von diesem auf das Quecksilber in der Röhre fortgepflanzte Druck ist es, der die Quecksilbersäule herabzufließen, was vermöge ihrer Schwere geschehen sollte, hindert, und sie also trägt. Wird das geschlossene Ende geöffnet, so fällt das Quecksilber völlig herab; denn der von dem Quecksilber im Gefäße auf das Quecksilber in der Röhre heraufwärts fortgepflanzte Luftdruck und der Luftdruck auf das Quecksilber in der Röhre herabwärts heben sich nun auf, und das Quecksilber folgt der Schwere allein. Wird bei diesem Versuche, wie es auch geschehen ist, Wasser genommen, so erreicht es durch den Luftdruck eine Höhe von 32 Fuß. Da nämlich das Wasser etwa 13½ Mal spezifisch leichter als Quecksilber ist, so kann auch der Luftdruck eine Wassersäule, die 13½ Mal so hoch ist, als die Quecksilbersäule, tragen.

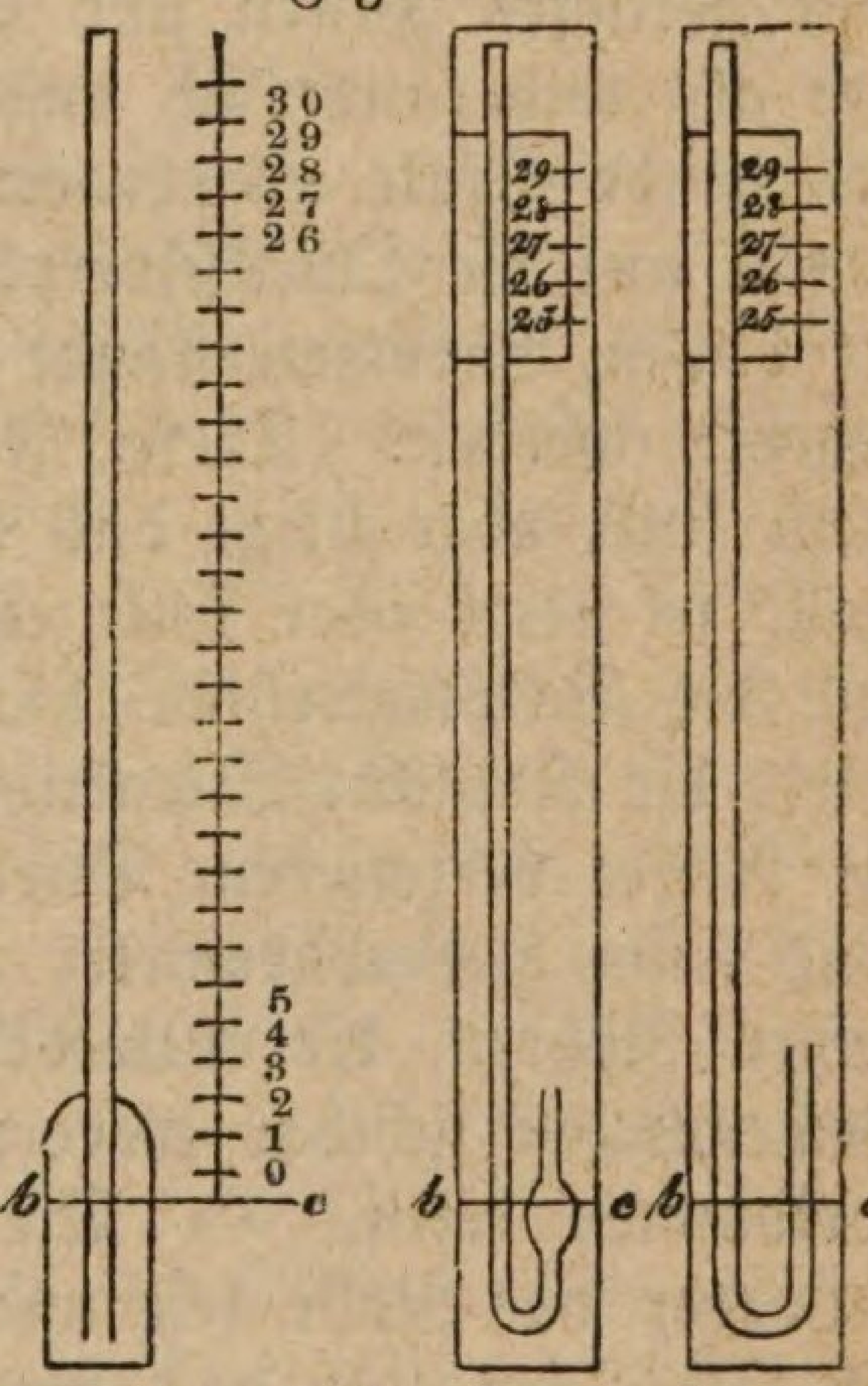
Daß eine Luftsäule von der Höhe der ganzen Atmosphäre, eine Wassersäule von etwa 32 Fuß und eine Quecksilbersäule von etwa 28 Zoll einander das Gleichgewicht halten, ist eine Folge des Gesetzes über kommunizirende Röhren (§ 107), indem man sich den kürzern offenen Schenkel bis zur Grenze der Atmosphäre verlängert denkt. Bis zum Jahre 1643, wo Evangelista Toricelli, ein Schüler des berühmten Galilei, diesen Versuch machte, war der Druck der Luft unbekannt. — Toricelli'sche Röhre, Toricelli'sche Leere, vacuum Toricellianum. Der Raum über dem Quecksilber in der längern Röhre muß vollkommen luftleer sein.

127. 1) Das Barometer. Wenn dem beim Toricelli'schen Versuche gebrauchten Apparate eine solche Einrichtung gegeben wird, daß das Gefäß klein ist, die Röhre daran senkrecht befestigt und mit einer Skale, d. i. mit einer Eintheilung nach Zollen und Linien, zur Messung der Höhe der Quecksilbersäule versehen ist, so erhält man das sogenannte Barometer. Es stellt gleichsam zwei kommunizirende Röhren dar, die mit verschiedenen Flüssigkeiten, Luft und Quecksilber, gefüllt sind. Die einzige Bestimmung des Barometers ist, den Druck oder das Gewicht der über demselben sich befindenden

Luftsäule zu messen. Daß es hierzu brauchbar ist, folgt schon im Allgemeinen aus der Ueberzeugung, daß nur der Druck der Luft es ist, durch welchen die Quecksilbersäule im Toricelli'schen Versuche gehalten wird, und daß also bei vermehrtem Drucke das Quecksilber steigen, bei vermindertem dagegen fallen müsse.

Man hat zwei Hauptarten von Barometern, nämlich Gefäßbarometer (Kapselbarometer, Flaschenbarometer, Birnbarometer) und Heberbarometer. Das vorhin erwähnte ist ein Gefäßbarometer. Das Heberbarometer ist eine so gekrümmte Röhre von möglichst überall gleicher Weite, daß die beiden Theile, wovon der eine lang (etwa 30 Zoll), der andere aber bedeutend kürzer ist, einander parallel laufen. Der längere ist oben zugeschmolzen, der kürzere aber offen, damit die Atmosphäre auf das Quecksilber ihren Druck ausüben könne (Figur 43).

Figur 43.



Barometerhöhe oder Barometerstand bezeichnet die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule, also beim Gefäßbarometer die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre, von der Quecksilberoberfläche im Gefäß an gerechnet; im Heberbarometer dagegen die Höhe der Quecksilbersäule in dem längeren Schenkel, von der Stelle (b) an gerechnet, welche mit der Quecksilberoberfläche im kürzeren Schenkel gleich hoch liegt, denn hier hält die Quecksilbersäule im kürzeren Schenkel einer eben so hohen im längeren das Gleichgewicht (§ 107), und nur was darüber ist, wird vom Drucke der Luft getragen. Man könnte mithin auch allgemein sagen: Barometerhöhe ist die senkrechte Entfernung der beiden Quecksilberoberflächen von einander, oder Barometerhöhe ist der Höhenunterschied der beiden Quecksilberoberflächen: genauer gesagt, der höchsten Punkte der beiden konvexen Quecksilberoberflächen.

Der höchste Punkt der unteren Quecksilberoberfläche ist der Punkt, von dem an die Barometerhöhe gerechnet wird; er ist der Nullpunkt der Skale, die sich zur Seite gewöhnlich auf einem Metallstreifen aufgetragen befindet.

Der Luftdruck, den irgend eine Ebene zu tragen hat, ist gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule, deren Grundfläche diese Ebene und deren Höhe dem jedesmaligen Barometerstande gleich ist. Ist die Ebene 1 Q.-F. groß, die Barometerhöhe 28 Zoll $= 2^1/_3$ F., so ist der Inhalt der Quecksilbersäule $= 1 \cdot {}^7/_3 = {}^7/_3$ K.-F., also der Druck der Luft auf 1 Q.-F. ungefähr $\frac{7 \cdot 66 \cdot 14}{3} = 2156$ Pfd., und auf 1 Q.-Z. $= \frac{2156}{144}$ = fast 15 Pfund. — Ein Mensch von mittlerer Größe, dessen Körperoberfläche 14 Q.-F. beträgt, hat einen Luftdruck von etwa 2156 . 14 Pfd., fast = 275 Ztr., zu tragen, welchem ein eben so großer Gegendruck durch die Luft im Innern des Körpers entgegenwirkt, was die Zusammendrückung des Körpers verhindert.

Das Heberbarometer wird dem Gefäßbarometer vorgezogen, wiewohl es wegen der großen Reibung des Quecksilbers an dem unteren, gekrümmten Theile weniger empfindlich ist. Der Grund davon liegt darin, daß die abgelesene Barometerhöhe beim Gefäßbarometer einer Korrektion bedarf, um richtig zu sein, was beim Heberbarometer nicht nöthig ist. Im Gefäßbarometer wird nämlich der Stand des Quecksilbers im Gefäße, weil dessen Durchmesser den der Röhre bedeutend übertrifft, also mit dem Steigen und Fallen in der Röhre nur ein sehr geringes Fallen und Steigen im Gefäße verbunden ist, gewöhnlich als unveränderlich angenommen, wodurch (wenn nicht etwa eine bewegliche Skale angebracht ist, mittelst welcher der Nullpunkt immer genau auf die Quecksilberoberfläche im Gefäße gebracht werden kann) die hohen Barometerstände zu niedrig und die niedrigen zu hoch angegeben werden. Dieser Fehler fällt beim Heberbarometer ganz weg, denn sinkt oder steigt das Quecksilber im kürzeren Schenkel um Einen Zoll, so steigt oder sinkt es dadurch im längeren auch um Einen Zoll, und die Barometerhöhe hat sich um zwei Zolle geändert. Zweitens wirkt die Kapillar-Attraktion beim Gefäßbarometer, da das Gefäß und die Röhre verschiedene Durchmesser haben, auch verschieden stark; während beim Heberbarometer wegen ihrer gleich starken Wirkung in den beiden Röhren, die entweder durchgängig oder wenigstens da, wo die Bewegungen sichtbar werden, gleiche Weiten haben, dieser Fehler nicht vorkommen kann. — Die Heberbarometer sind so eingerichtet, daß entweder das Rohr fest und die Skale dabei beweglich, oder umgekehrt, die Skale fest und das Rohr beweglich ist. So oft die Barometerhöhe abgelesen werden soll, muß bei jenem, damit der Nullpunkt der Skale mit dem höchsten Punkte der konvexen Quecksilberoberfläche im kürzeren Schenkel in dieselbe Horizontalebene gebracht werde, die Skale, bei diesem dagegen das Rohr selbst hinauf oder herunter bewegt werden. Oder wenn Rohr und Skale fest bleiben, werden die Zoll und Linien von einem Punkte aus nach oben und unten abgelesen; geben addirt die Länge der Quecksilbersäule.

Durch welche Vorrichtungen werden diese Bewegungen bewirkt? Vor dem Ablesen der Barometerhöhe muß jedes Mal das Barometer ein wenig geschüttelt werden, um das Adhäriren des Quecksilbers an die inneren Wände der Röhre aufzuheben. — Tragbare Barometer, Reisebarometer.

2) Die Hauptanwendung findet das Barometer bei Höhenmessungen, d. h. bei der Bestimmung der Höhen der Berge, so wie überhaupt der Erhebung eines jeden Ortes über die Meeresfläche. Das Barometer steigt bei vermehrtem und sinkt bei vermindertem Luftdrucke; auf dem Berge drückt eine kürzere Luftsäule, als im Thale, da wir dort eine Luftsäule von der Höhe des Berges unter uns haben, die nicht mehr wirken kann, und außerdem nimmt die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe ab; es muß daher dort das Barometer niedriger stehen, als hier; so wie es auf Bergen von verschiedenen Höhen auch verschieden hoch stehen muß, doch so, daß es auf dem höchsten Berge

am niedrigsten, auf dem niedrigsten Berge am höchsten steht. Daß also das Barometer zu Höhenmessungen gebraucht werden kann, geht hieraus klar hervor, so wie das auch die Erfahrung zeigt, denn:

auf dem Chimborasso	steht es bei	20100′	Höhe auf	$12^5/_6$	Zoll,
— Montblanc	— —	14650′	— —	16	—
— Aetna	— —	10300′	— —	19	—
— St. Gotthard	— —	7600′	— —	21	—
— Brocken	— —	3650′	— —	$24^1/_2$	—
an der Meeresfläche etwas über	. . . . . .			28	—

Hätte die Luft in allen Höhen gleiche Dichtigkeit, so wäre es ein sehr leichtes Geschäft, Höhen, bis zu denen wir uns erheben, mittelst des Barometers zu messen; denn müßten wir uns, wie das bei der Temperatur Null und bei trockener Luft ungefähr der Fall ist, zuerst über die Oberfläche der Erde 73′ erheben, damit das Quecksilber um Eine Linie falle, so würden wir uns 5 . 73′ = 365′ erhoben haben, wenn das Barometer um 5 Linien gefallen wäre u. s. w. Da aber (§ 125) die Dichtigkeit der Atmosphäre von unten nach oben abnimmt, so müssen die Luftsäulen, die einer Quecksilbersäule von Einer Linie das Gleichgewicht halten, immer höher und höher werden, je mehr wir uns über die Erde erheben; so muß man sich z. B. in der Höhe, wo das Barometer auf 21 Zoll steht, schon $109^1/_2$′, und in der Höhe, wo es auf 14 Zoll steht, gar schon 146′ erheben, damit das Quecksilber um eine Linie falle; dort also von 21 Zoll auf 20 Zoll 11 Linien, hier von 14 Zoll auf 13 Zoll 11 Linien. Die hierdurch entstehende Schwierigkeit würde sich zwar durch das Mariotte'sche Gesetz beseitigen lassen, wenn die Temperatur des Quecksilbers und der Luft, ferner die Erdschwere und der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre unverändert dieselben blieben, und bei den Gefäßbarometern außerdem noch die Haarröhrchen-Anziehung in dem Gefäße und in der Röhre gleich stark wirkte. Steht nämlich das Barometer bei der Höhe von Null Fuß auf 28 Zoll = 336 Linien, und muß man sich 73 Fuß erheben, damit es um Eine Linie, also auf 335 Linien herabsinke, so ist nach jenem Gesetze leicht zu finden, wie viele Fuß man sich erheben müßte, damit das Barometer um die zweite Linie, also auf 334 Linien herabsinke. Die Menge Luft, welche einer Quecksilbersäule von Einer Linie das Gleichgewicht hält, ist nämlich immer dieselbe, nur in verschiedenen Räumen, und da diese sich wie umgekehrt die Druckkräfte, welche durch die Barometerhöhen angegeben werden, verhalten, so steht für die zweite, dritte ꝛc. ꝛc. Luftsäule, welche einer Quecksilbersäule von Einer Linie das Gleichgewicht hält:

$336 : 335 = x : 73$, also $x = 73{,}218$,
$336 : 334 = x : 73$, also $x = 73{,}437$ oder auch
$335 : 334 = x : 73{,}218$, also $x = 73{,}437$ u. s. w.,

so daß man also, wenn das Barometer um zwei Linien gesunken ist, nicht 2 . 73 = 146 F., sondern 73 + 73,218 = 146,216 F., wenn es um drei Linien gesunken ist, nicht 3 . 73 = 219, sondern 73 + 73,

218 + 73, 437 = 219, 655 F. gestiegen ist u. s. w., eine Differenz, welche bei 24 Linien schon über 40 F. und bei größeren Höhen noch mehr beträgt. Hiernach könnte man folgende Zusammenstellung entwerfen:

28″	= 336‴	Barometerstand giebt die Höhe	0
27″ 11‴	= 335‴	— — — —	73′
27″ 10‴	= 334‴	— — — —	146,218′
27″ 9‴	= 333‴	— — — —	219,655′
27″ 8‴	= 332‴	— — — —	293,312′

u. s. w.

Der Gebrauch einer solchen Tabelle, bei deren Berechnung man nur von einer kleineren Fallhöhe des Barometerstandes als eine Linie ausgehen müßte, ist von selbst einleuchtend.

Die Hauptkorrektionen sind die wegen der Wärme, und zwar:

a) Korrektion wegen der Quecksilbertemperatur. Die Wärme dehnt das Quecksilber aus, die Kälte zieht es zusammen (§ 182. 1). Beträgt der Barometerstand bei Nulltemperatur 28″, so wird er bei höherer Temperatur mehr, bei niederer aber weniger betragen, wenn auch der Luftdruck ungeändert geblieben ist; wir werden daher die Erhebung eines Ortes bei Wärmegraden wegen des höheren Barometerstandes für niedriger, so wie bei Kältegraden wegen des niederen Barometerstandes für höher schätzen, als sie wirklich ist, d. h. als diejenige ist, welche die Nulltemperatur angiebt; wenn es einmal feststeht, wie viele Fuße man sich bei dieser Temperatur zu erheben habe, damit das Barometer um eine bestimmte Größe falle. Hierdurch wird es nothwendig, die abgelesene Barometerhöhe auf diese Normaltemperatur, den Nullpunkt der Thermometerskale, zu reduziren; dieser Reduktion liegt der Erfahrungssatz zu Grunde: daß jede Quecksilbersäule sich um $^1/_{4440}$ ihrer Länge für jeden Réaumur'schen Grad (um $^1/_{5550}$ für jeden Zentesimalgrad, wegen $4:5 = x : {}^1/_{4440}$, § 184) ändert, d. h. für jeden Grad mehr Wärme sich um diesen Theil verlängert, dagegen für jeden Grad weniger Wärme sich um denselben Theil verkürzt.

Es sei bei 20 Grad Quecksilberwärme die Barometerhöhe 18″ 6‴ = 222‴, dann ist sie korrigirt, d. h. auf die Nulltemperatur eingerichtet, nur $222 - \frac{222 \,.\, 20}{4440} = 222''' - 1''' = 22''' 1 = 18'' 5'''$; wäre sie aber bei 20 Grad Kälte 18″ 6‴, so würde sie korrigirt 18″ 7‴ sein. Für die beobachtete Barometerhöhe b und die Quecksilbertemperatur t ist die korrigirte Barometerhöhe $b \mp \frac{t}{4440}\, b = b\left(1 \mp \frac{t}{4440}\right) = b\,(1 \mp 0{,}000225225 \,.\,.\, t)$, so wie für das Zentesimalthermometer $b\,(1 \mp 0{,}00018018 \,.\,.\, t)$, und zwar $\mp$ je nachdem t Wärme- oder Kältegrade angiebt. Der Thermometer am Barometer, oder das attachirte Thermometer. Dieser Ausdehnung wirkt entgegen die Ausdehnung des Materials der Skale, welche bei ganz genauen Bestimmungen auch in Rechnung zu bringen ist, besonders wenn die Skale aus Metall, weniger, wenn sie aus Glas ist.

b) Korrektion wegen der Lufttemperatur. Bei zunehmender Wärme wird die Luft ausgedehnt, dadurch dünner, also auch spezifisch leichter;

bei abnehmender dagegen zieht sie sich zusammen, wird dichter, also spezifisch schwerer — es wird daher die unterste Luftschichte von 73′ Höhe bei Wärmegraden leichter, bei Kältegraden aber schwerer sein, als bei der Nulltemperatur. Wenn also bei der Nulltemperatur eine Erhebung von 73′ das Barometer um Eine Linie fallen läßt, so wird bei dieser Erhebung das Barometer bei Wärmegraden weniger, bei Kältegraden dagegen mehr als Eine Linie fallen; oder, was daraus folgt, man wird sich bei Wärmegraden wegen der leichteren Luft mehr, bei Kältegraden wegen der schwereren Luft weniger, als bei der Nulltemperatur, d. h. dort mehr, hier weniger, als 73′ erheben müssen, damit das Barometer immer um Eine Linie falle. Es bedarf mithin die berechnete Höhe, wenn die Lufttemperatur nicht Null ist, jedes Mal einer Korrektion; sie ist bei Wärmegraden zu klein, bei Kältegraden zu groß; daher muß bei Wärmegraden die berechnete Höhe etwas vergrößert, bei Kältegraden aber etwas verkleinert werden, um richtig zu werden. Diese Korrektion beruht auf der Erfahrung: daß die Ausdehnung der Luftsäule für jeden Réaumur'schen Grad $\frac{10}{2133}$ $= \frac{1}{213,3}$ ihrer Länge beträgt; mithin um so viel für jeden Wärmegrad die berechnete Höhe zu vergrößern und für jeden Kältegrad zu verkleinern ist. Dabei nimmt man als Temperatur der ganzen Luftsäule, deren Wärme von unten nach oben abnimmt, das arithmetische Mittel aus der unteren und oberen Temperatur.

Es betrage die unkorrigirte Höhe 2133′, so ist sie korrigirt für 8 Grad Wärme nach Réaumur mittlerer Temperatur $2133 + \frac{2133 . 10 . 8}{2133} = 2133 + 80 = 2213'$, und für 8 Grad Kälte $2133 - 80 = 2053'$. Man würde also unmittelbar über der Erde bei 10 Grad Wärme (statt 73′ bei der Nulltemperatur) sich schon 76,42′, und bei 10 Grad Kälte nur 69,58′ erheben müssen, damit das Barometer um Eine Linie falle.

Heißt die unkorrigirte Höhe h, so ist, wenn wir die untere Temperatur T′ und die obere t′ nennen, die korrigirte Höhe

$$h \pm \frac{T' + t'}{2 . 213,3} . h = h \left(1 \pm \frac{T' + t'}{426,6}\right).$$

Das freie Thermometer.

c) Die Korrektion wegen der Schwere ist weniger wichtig. Da die Erdschwere vom Aequator nach den Polen zunimmt, so wird sie, wenn wir von 45° Breite ausgehen, von da nach den Polen zunehmen, nach dem Aequator aber abnehmen. Nothwendige Folge hiervon ist, daß eine Quecksilbersäule von unveränderlicher Grundfläche und Höhe von 45° bis zu den Polen immer mehr, von da bis zum Aequator immer weniger, als bei genau 45° wiegt, mithin eine Quecksilbersäule über 45° hinaus immer niedriger, unter 45° immer höher wird, als bei 45° Breite, wenn sie denselben Druck ausüben soll. Die zu niedrige Quecksilbersäule giebt die Höhe zu groß an, die zu hohe aber zu niedrig; daher ist von der berechneten Höhe von 45°

bis 90° Breite etwas zu subtrahiren, zu der von 45° bis 0 dagegen etwas zu addiren. Die Luft ist zwar der Einwirkung der Schwere eben so wie das Quecksilber ausgesetzt, aber wegen der Expansion der Luft ist die Ausdehnung anders, so daß sich das Verhältniß der Luftsäule und der Quecksilbersäule, welche einander das Gleichgewicht halten, ändern muß. Auch die Abnahme der Schwere mit der Höhe ist bei sehr bedeutenden Höhen nicht ohne Einfluß.

Korrektion wegen der Feuchtigkeit der Luft (da Wasserdampf leichter als trockne atm. Luft, § 121), Korrektion wegen der ungleichen Wirkung der Haarröhrchen-Anziehung bei den Gefäß-Barometern im Gefäße und in der Röhre, und Korrektion wegen der Ausdehnung der Skale.

Eine allgemeine Formel für den Höhenunterschied zweier Stationen, wenn zu der kleinern Höhe h der größere Barometerstand B, zu der größeren Höhe H der kleinere Barometerstand b gehört, ist:

$$H - h = 56385{,}5 \log \frac{B}{b}$$

unter der Voraussetzung gleicher Temperatur des Quecksilbers und der Luft oben und unten. Ist aber die untere Quecksilbertemperatur T, die obere t, so werden die korrigirten Barometerstände sein:

$$B \left\{ 1 - \frac{T}{4440} \right\} \quad \text{und } b \left\{ 1 - \frac{t}{4440} \right\}$$

mithin wird $\frac{B}{b}$ übergehen in

$$\frac{B}{b} \left\{ \frac{1440 - T}{1440 - t} \right\} = \frac{B}{b} \left\{ 1 + \frac{t - T}{4440 - t} \right\} = \frac{B}{b} \left\{ 1 - \frac{T - t}{4440 - t} \right\}$$

$$\text{endlich in } \frac{B}{b} \left\{ 1 - \frac{T - t}{4440} \right\} \text{ wegen } t \text{ viel } < 4440,$$

welche letztere Formel zeigt, daß, statt beide Barometerstände, jeden für seine Temperatur, zu korrigiren, man nur nöthig hat, den größeren B für die Differenz beider Temperaturen zu korrigiren, den kleineren aber unkorrigirt zu lassen. Es ist also jetzt, wenn B′ und b′ die korrigirten Barometerstände bedeuten:

$$H - h = 56385{,}5 \log \frac{B'}{b'} = h'.$$

Diese Formel würde für die Nulltemperatur der Luft die Höhe richtig angeben; für jede andere Mitteltemperatur muß die sich aus ihr ergebende Höhe korrigirt werden. Heißen die untere und die obere Lufttemperatur T′ und t′, die Mitteltemperatur also $\frac{T' + t'}{2}$, so geht:

$$h' \text{ über in } h' \left\{ 1 + \frac{T' + t'}{426{,}6} \right\}$$

und es ist daher endlich, wenn beide Korrektionen wegen der Wärme angebracht werden:

$$H - h = 56385{,}5 \left\{ 1 + \frac{T' + t'}{426{,}6} \right\} \log \frac{B'}{b'} \text{ oder}$$

$$H - h = 56385{,}5 \left\{ 1 + \frac{T' + t'}{426{,}6} \right\} \log \frac{B}{b} \left\{ 1 - \frac{T - t}{4440} \right\}$$

Es sei:

Der obere Bestand in M 20,8″, der untere in P 27,6″;
die obere Quecksilber-T. 8°, die untere 15°;
die obere Luft-T. 4°, die untere 14°,
dann ist:

$$T - t = 15 - 8 = 7, \text{ also } \frac{7 \cdot 27,6}{4440} = 0,0435;$$

$$B \left\{ 1 - \frac{T - t}{4440} \right\} = 27,6 - 0,0435 = 27,5565,$$

$$\text{also } \log \frac{27,5565}{20,8} = 0,1221608,$$

$$\text{ferner } 1 + \frac{T' + t'}{426,6} = 1 + \frac{14 + 4}{426,6} = \frac{444,6}{426,6}$$

$$\text{mithin } H - h = \frac{56385,5 \cdot 444,6 \cdot 0,1221608}{426,6}$$

$= 7178,7'$; liegt M 7178,7 Fuß höher als P.

Laplace's Formel, die auch die Polhöhe p enthält, ist, für das Réaumur'sche Thermometer und das preußische Maaß eingerichtet, folgende:

$$58604 \; (1 + 0,0002837 \cos 2\,p) \left\{ 1 + \frac{T' + t'}{400} \right\} \times$$

$$\left\{ \log B - \log b - \log \frac{4329 + T - t}{4329} \right\}$$

Wenn nicht die größte Genauigkeit erforderlich ist, so genügt folgende Formel:

$$54670 \; [1 + 0,002 \; (T' + t')] \; (\log B - \log b).$$

Die erste Barometermessung machte den 19. September 1648 Perrier auf Paskal's Veranlassung zu Klermont in der Auvergne auf dem 4509' hohen Berge Puy de Dome.

3) Es finden auch Veränderungen im Barometerstande an einem und demselben Orte statt, und der Regel nach desto bedeutendere, je tiefer und je näher den Polen der Ort liegt; am Aequator und auf hohen Bergen sind sie unbedeutend. In Peru beträgt der Spielraum nur einige Linien, in Neapel etwa 1 Zoll, in Deutschland 2—3 Zoll, in Petersburg über 3 Zoll. Der Zusammenhang der Barometerschwankungen mit den Temperaturveränderungen ist unverkennbar; mit der höheren geographischen Breite nimmt die Veränderlichkeit der Temperatur und des Barometerstandes zu.

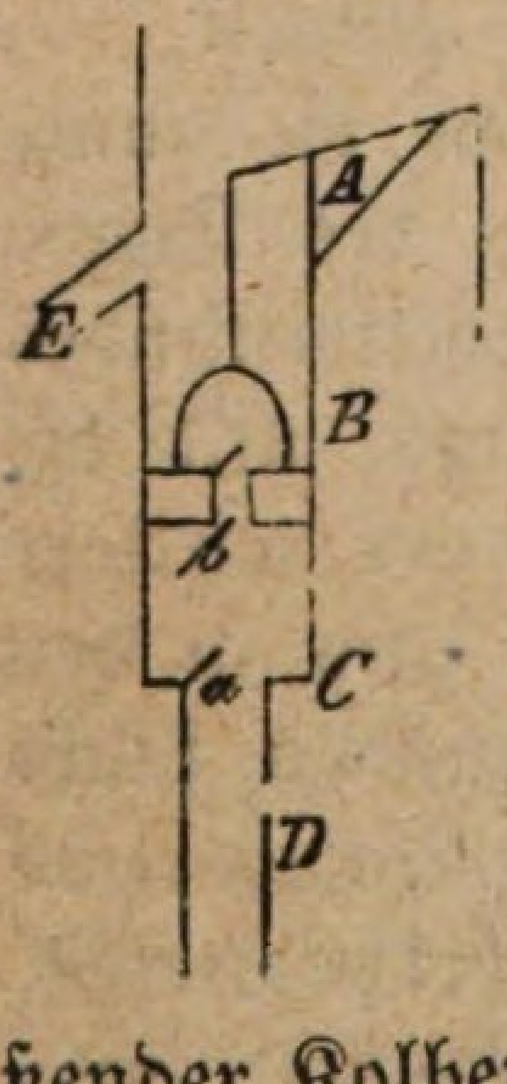
Sehr merkwürdig sind am Aequator die täglichen, regelmäßig wiederkehrenden Aenderungen im Barometerstande. Diese täglichen Oszillationen des Barometers, welche ohne Zweifel eine Folge des durch Erwärmung und Feuchtigkeit veränderten Luftdruckes sind, erfolgen so: Von $4^1/_2$ Uhr N.M. bis 10 Uhr Abends steigt das Barometer um 0,6 Linien, — von 10 Uhr Abends bis $3^1/_2$ Uhr Morgens fällt das Barometer um 0,3 Linien, — von $3^1/_2$ Uhr M. bis zwischen 9 und 10 Uhr M. steigt das Barometer um 0,7 Linien, — von 10 Uhr M. bis gegen $4^1/_2$ Uhr N.M. fällt es um die ganze Linie, um welche es um 10 Uhr M. höher stand, als des Tages vorher um $4^1/_2$ Uhr N.M. Die Minima des Barometerstandes fallen also etwa um 4 Uhr Morgens und des Nachmittags, und die Maxima um 10 Uhr des Morgens und des Abends; der mittlere Stand des ganzen Tages tritt um $12^3/_4$ ein. Auch bei uns in den gemäßigten Zonen finden ungefähr in denselben Tagesstunden solche Minima und Maxima in den täglichen Schwankungen des Barometers statt, wenn sie auch nicht so regelmäßig und so sichtbar hervortreten, auch nach den Jahreszeiten früher oder später, z. B. das Nachmittags-

Minimum im Winter um 2 Uhr 48 Minuten, im Sommer um 5 Uhr 8 Minuten, das Abend-Maximum im Winter um 9 Uhr 30 Minuten, im Sommer um 10 Uhr 54 Minuten. Außer diesen täglichen periodischen Schwankungen des Barometers hat man auch jährliche periodische beobachtet; so sinkt in der nördlichen Hälfte der Erde das Barometer vom Januar, erreicht im April ein Minimum, steigt langsam bis September, fällt wieder bis November, wo es zweiten Mal das Minimum erreicht.

Mittlere Barometerhöhe, mittelst deren die Höhe eines Ortes über dem Meere bestimmt wird. — Der mittlere Barometerstand an der Meeresfläche ist nach der geographischen Breite und nach Erman auch nach der Länge verschieden. Am Aequator beträgt er 338—339 Linien, an der Ostsee 337,008 und an der Nordsee 336—337 Linien. Breslau 332,349 Linien.

Das Barometer ist ein sehr unsicherer Wetterprophet; doch ist der Einfluß der Winde auf den Barometerstand unleugbar. Bei nordöstlichen Winden, die uns kältere Luft zuführen, steht das Barometer durchschnittlich am höchsten; bei südwestlichen dagegen, die uns wärmere Luft bringen, am niedrigsten. Die Nordostwinde sind trocken, die Südwestwinde aber, welche von wärmeren Meeren kommen, sind an Wasserdampf reich, welcher sich in unseren kälteren Gegenden (§ 192) in Regen verwandelt und, weil er dadurch auf das Barometer zu wirken aufhört, ein Sinken desselben veranlaßt. Hiernach bringen Südwestwinde bei uns meist einen niedern Barometerstand und Regen, die Nordostwinde aber hohen Barometerstand und heiteren Himmel; worauf sich die bei uns, wo die wärmeren Winde zugleich regenbringende sind, meist zutreffende Regel, daß niederer Barometerstand schlechtes, hoher dagegen gutes Wetter anzeige, gründet. Kommt der Wind aus West, so geht er, wenn es schön werden soll, gewöhnlich durch Nord nach Ost; kommt er aus Ost, so geht er, wenn Regen folgen soll, durch Süden nach Westen, so daß auf den feuchten Westwind der kalte Nordwind, auf diesen der trockene Ostwind und auf diesen der nässende Südwind folgt. Wenn daher bei Westwinden das Barometer zu steigen anfängt, so erwarten wir schönes, und wenn es bei Ostwinden zu sinken anfängt, schlechtes Wetter. Das Seebarometer kündigt durch plötzliches Fallen mit Sicherheit einen Sturm an.

Fig. 44.



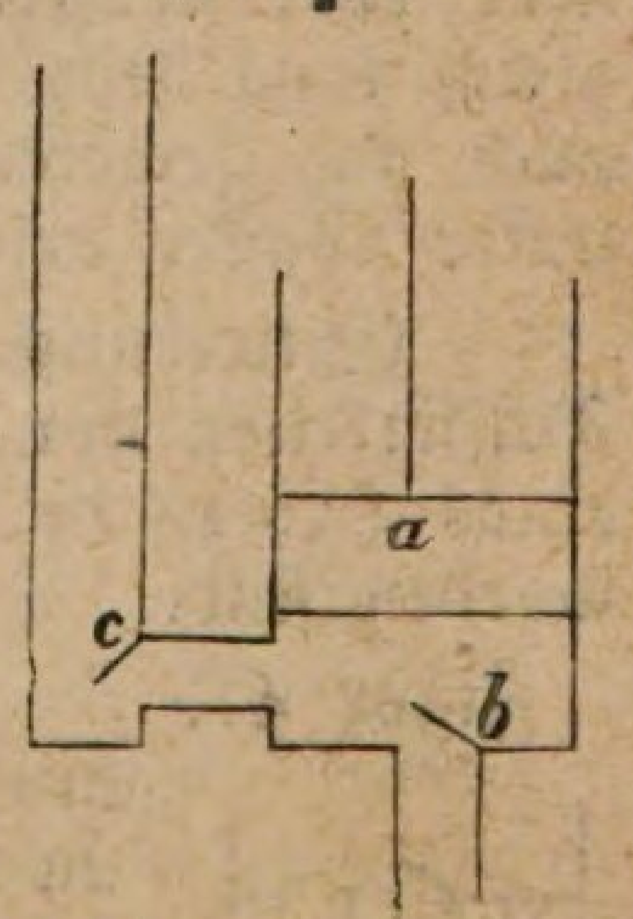
128. 1) Die Wasserpumpen sind Maschinen, mittelst welcher gewöhnlich Wasser aus der Tiefe über die Oberfläche der Erde gehoben wird, oft aber auch aus einem Flusse oder irgend einem Behältnisse nach einem höher gelegenen Orte. Sie sind Saugwerke oder Druckwerke; nur die ersteren gehören, streng genommen, hierher, da nur in ihnen das Wasser durch den Druck der Luft in die Höhe gehoben wird. Eine Saugpumpe besteht aus dem Saugrohre CD (Figur 44), welches unter der Oberfläche der Erde ins Wasser reicht, und dem Stiefel AC, in welchem ein dicht anschließender Kolben B herauf und herunter bewegt werden kann, und welcher

das **Ausgußrohr** E hat; außerdem kommen zwei Ventile, in C ein Bodenventil a, in B ein Kolbenventil b vor, welche sich beide nach oben öffnen. Wird nun der Kolben herauf und hinunter bewegt, so kommt nach einiger Zeit Wasser zum Ausgußrohre heraus. Die Erklärung ist folgende: Befindet sich der Kolben auf dem Boden und zieht man ihn herauf, so entsteht im Stiefel zwischen dem Kolben und Bodenventil ein luftleerer Raum, die Luft im Saugrohre öffnet daher das Bodenventil a, tritt in den Stiefel und bringt so im Saugrohre eine Luftverdünnung hervor. Das Wasser im Saugrohre aber wird nun durch das Uebergewicht der äußeren, das Saugrohr umgebenden Luft über die innere verdünnte um etwas gehoben; das Kolbenventil b muß dabei geschlossen bleiben, da die äußere über ihm sich befindende Luft dichter, als die innere ist, mithin stärker herab- als diese heraufdrückt. Drückt man hierauf den Kolben hinunter, so wird die Luft im Stiefel immer mehr verdichtet und erhält dadurch eine so große Kraft, daß sie durch ihren Druck nach unten das Bodenventil a schließt, durch ihren Druck nach oben aber das Kolbenventil b öffnet und dadurch einen Ausgang nach außen erhält. Beim jedesmaligen Heraufgehen des Kolbens steigt das Wasser im Saugrohre höher, tritt endlich über das Bodenventil und auch, wenn der Kolben hinlänglich tief heruntergedrückt wird, über das Kolbenventil, verschließt sich hierauf selbst durch sein eigenes Gewicht den Weg rückwärts, und kann nun bis zum Ausgußrohre gehoben werden.

Reines Wasser kann durch den Druck der Luft, wenn alle Theile der Saugpumpe aufs Genaueste gearbeitet sind, höchstens 32′ gehoben werden (§ 126). Salzwasser weniger hoch, warum? Der Druck der Luft hebt das Wasser nur bis über den Kolben, von da bis zum Ausgußrohre wird es durch mechanische, vom Drucke der Luft unabhängige Kräfte gehoben. — **Saugpumpen mit niederem und mit hohem Satze** — Repetirende Saugwerke — Athmen, Saugen, Trinken, Rauchen — horror vacui, Abscheu vor dem leeren Raume — Erklärung der verschiedenen Arten von Ventilen.

2) Bei einem **Druckwerke** wird von dem Drucke der Luft nur sehr wenig Gebrauch gemacht. Das Saugrohr ist sehr kurz, der Kolben hat kein Ventil, dagegen giebt es ein Bodenventil oder ein Seitenventil in dem Verbindungsrohre des Stiefels mit dem Steigrohre, in welchem das Wasser hinaufgetrieben wird (Figur 45). Wird der Kolben herauf und herunter bewegt, so füllt sich das Steigrohr immer höher und höher mit Wasser. Zieht man nämlich den am Boden sich befindenden Kolben a in die Höhe, so treibt die äußere Luft durch das Bodenventil b das Wasser in den im Stiefel entstandenen luftleeren Raum; der hierauf heruntergehende Kolben a schließt das Ventil b und treibt das Wasser durch das Seitenventil c in das Steigrohr. Bei fortgesetzter Kolbenbewegung kann das Wasser im Steigrohre, wenn eine hinlänglich große mechanische Kraft vorhanden ist, zu jeder beliebigen Höhe gehoben werden.

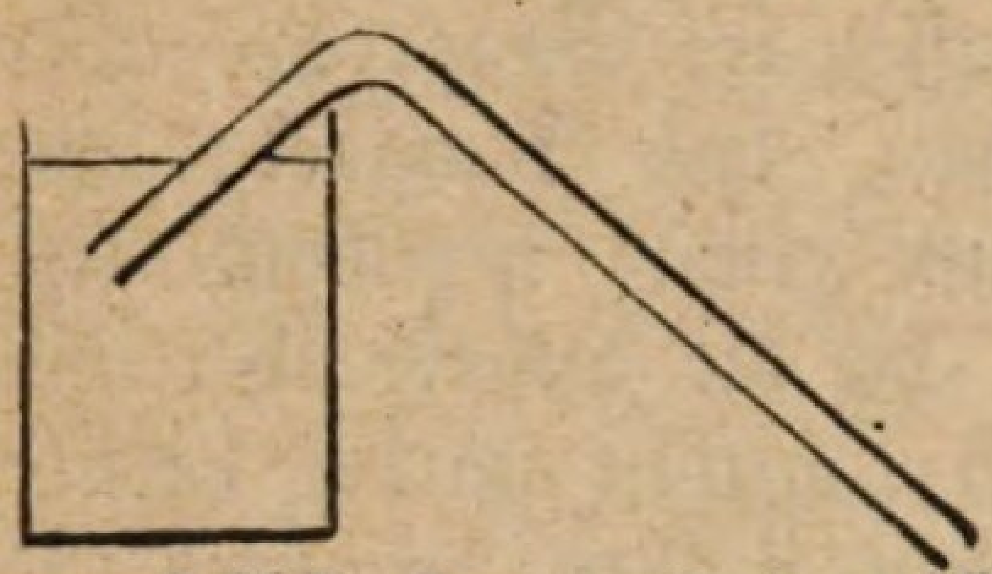
Fig. 45.



Vereinigte Saug- und Druckwerke.

129. Der **Heber** (sipho), auch **Saugheber** genannt, zum Unterschiede von dem gewöhnlichen **Stechheber**, ist eine gebogene, gewöhnlich aus zwei ungleich langen Schenkeln bestehende Röhre, die an beiden Enden offen ist. Die Schenkel sind häufig geradlinig und stoßen unter einem Winkel zusammen.

Fig. 46.

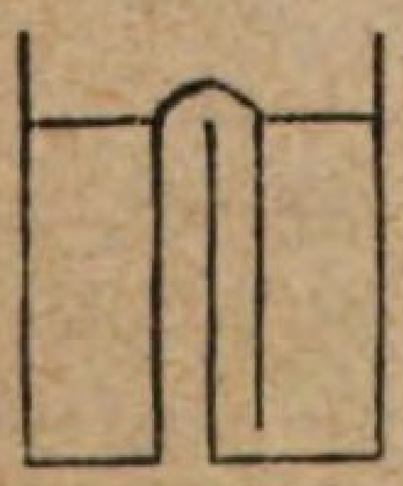


Steckt man das kürzere Ende in ein mit Wasser gefülltes Gefäß (Figur 46), so daß die Ausflußöffnung, d. i. das Ende des längeren Schenkels, tiefer liegt, als der Wasserspiegel, saugt hierauf die Luft an der Ausflußöffnung aus so lange, bis das Wasser dieselbe erreicht hat, so fließt es so lange von selbst fort, als das Ende des kürzeren Schenkels noch im Wasser ist. — Daß das Wasser, sobald beide Schenkel davon voll sind, **fortfließt**, was hier allein zu erklären ist, ist Folge des ungleichen Druckes, mit welchem es in den beiden Schenkeln heraufgedrückt wird. In beiden Schenkeln wird das Wasser von der Atmosphäre gleich stark heraufgedrückt (denn daß der längere tiefer heruntergeht, kann hier als ohne Einfluß betrachtet werden), im kürzeren mittelbar durch das Wasser im Gefäße, im längeren aber unmittelbar; diesem Luftdrucke nach oben wirkt in den Schenkeln das Gewicht des sich darin befindenden Wassers entgegen. Da dieser Gegendruck im kürzeren Schenkel, weil er weniger Wasser als der längere enthält, geringer ist, als im längeren, so bleibt von dem Luftdrucke nach oben im kürzeren Schenkel mehr übrig, als im längeren; dieser größeren Kraft, vom kürzeren nach dem längeren hin, folgend, muß daher das Wasser aus dem längeren Schenkel herausfließen, natürlich so lange, als der kürzere noch im Wasser ist, und dabei der Wasserspiegel höher liegt, als die Ausflußöffnung; da so lange die das Ausfließen bewirkenden Umstände ungeändert bleiben.

Da nur derjenige Theil des kürzeren Schenkels in Betracht kommt, welcher über dem Wasserspiegel ist, so können die beiden Schenkel des Hebers auch gleich lang sein. Statt den Heber durch Saugen zu füllen, kann man ihn auch auf gewöhnliche Weise füllen, beide Enden fest zuhalten, den kürzeren unter Wasser bringen, darauf diesen zuerst und dann den längeren öffnen.

Entleerung der Fässer durch das Spundloch. — Wenn in einem Gefäße Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischem Gewichte sind, so lassen sich mittelst eines Hebers die unteren ausfüllen, ohne daß vorher die oberen weggeschafft worden sind.

Figur 47.

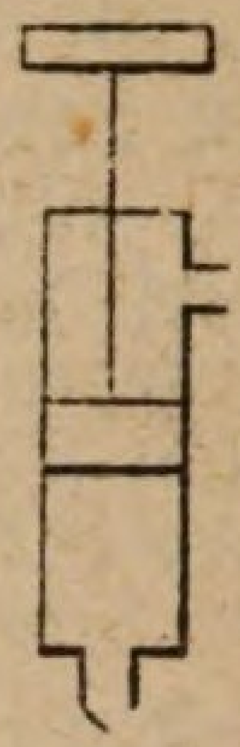


Leitung des Wassers über Anhöhen, die aber welche Höhen nicht übersteigen dürfen? — Der Kanal von Languedoc (canal du midi). Unter den hierher gehörenden Spielereien ist besonders beachtungswerth der **Vexirbecher** (diabetes Heronis), weil darauf wahrscheinlich die merkwürdige Eigenthümlichkeit mancher Brunnen, bei Regenwetter trocken zu werden, und die des Zirknitzer Sees in Krain beruht (Figur 47).

Heber mit Saugröhren, Heberspringbrunnen.

130. Die **Kompressionspumpe** (Figur 48) hat die Bestimmung, in einen abgeschlossenen Raum immer mehr und mehr Luft zu bringen, und dadurch die eingeschlossene Luft zu verdichten. Sie besteht aus einem hohlen Zylinder, dem **Stiefel**, und einem genau anschließenden **Kolben**, der mittelst einer Kolbenstange herauf und herunter bewegt werden kann. Der Stiefel hat an dem der Kolbenstange entgegengesetzten Ende, welches genau in die Oeffnung des Gefäßes, in welchem die Luft verdichtet werden soll, paßt, ein nach außen sich öffnendes Ventil, ein Bodenventil, und nicht fern vom anderen Ende eine kleine Seitenöffnung. Statt dieser Seitenöffnung kann auch ein zweites, aber nach innen sich öffnendes Ventil, ein Seitenventil, in der Nähe des Bodenventils angebracht werden. — Wenn das Ventilende der Pumpe in die Oeffnung des Gefäßes eingepaßt ist, hat man, um die Verdichtung zu bewirken, nichts weiter zu thun, als zu wiederholten Malen den Kolben in dem einen Falle bis über die Seitenöffnung, in dem andern überhaupt bis an das Ende des Stiefels zu ziehen und darauf bis zu dem Bodenventil herabzudrücken. — Zieht man den Kolben vom Bodenventil bis an die Seitenöffnung, so hat man im Stiefel einen luftleeren Raum; zieht man den Kolben über diese Oeffnung hinweg, so dringt durch diese die äußere Luft in den luftleeren Raum, der hierauf heruntergedrückte Kolben verdichtet im Stiefel die Luft, welche sich das Bodenventil öffnet, in das Gefäß tritt und dort angekommen sich selbst den Ausgang verschließt u. s. w. Bei der andern Art tritt durch das Seitenventil bei der Entfernung des Kolbens vom Bodenventil Luft in den Stiefel, und die durch die entgegengesetzte Bewegung des Kolbens verdichtete Luft schließt das Seitenventil, während sie das Bodenventil öffnet u. s. w.

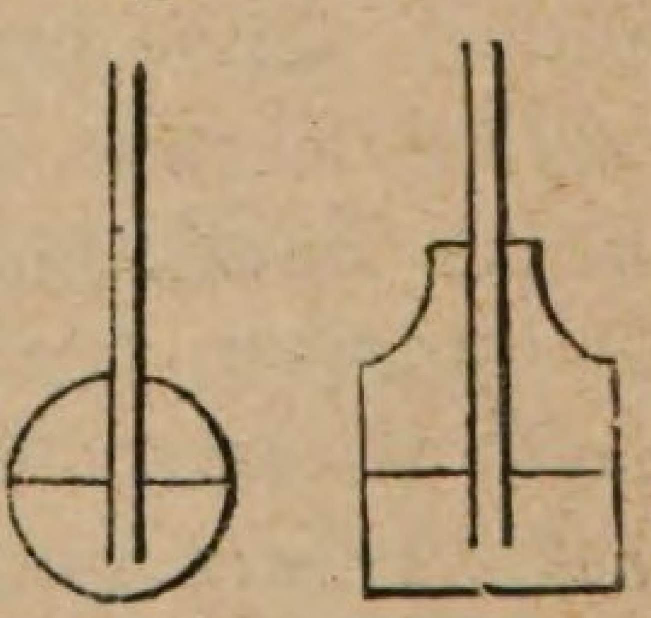
Fig. 48.



Anwendung der Verdichtungspumpe bei der Windbüchse, ferner um die ins Meer herabgelassene Taucherglocke durch einen Schlauch vom Schiffe her mit frischer Luft zu versehen, so wie um manche Gasarten in Flüssigkeiten zu kondensiren.

131. Der **Heronsball** (Figur 49) ist ein Gefäß (eine Kugel, eine Flasche u. s. w.), durch dessen luftdicht verschlossenen Hals eine außerhalb hervorragende und innerhalb fast bis an den Boden reichende enge Röhre geht. Er hat den Zweck, die verdichtete Luft als bewegende Kraft zu zeigen. — Wird das Gefäß mit Wasser so weit gefüllt, daß das Ende der Röhre darin zu stehen kommt, und wird hierauf die über dem Wasser befindliche und von der äußeren Luft durch das Wasser getrennte Luft durch Hineinblasen mittelst des Mundes oder durch Anwendung der Verdichtungspumpe (§ 130) verdichtet, so sieht man einen Wasserstrahl zur Röhre herausspringen. — Ehe die Verdichtung der inneren Luft beginnt, hat diese mit der äußeren gleiche Dichtigkeit, mithin drücken die innere und die äußere

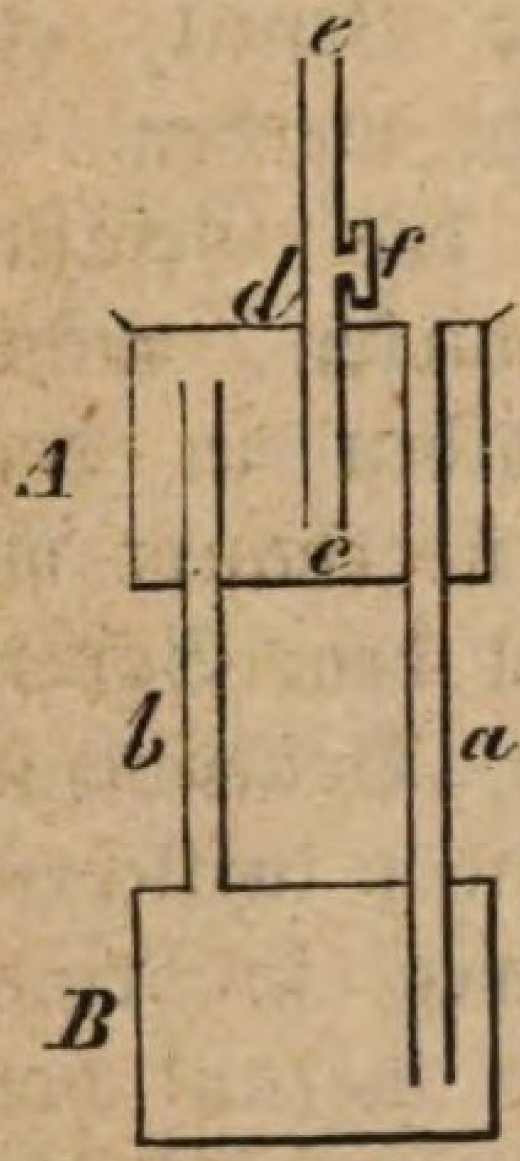
Figur 49.



Luft gleich stark auf das Wasser, welches daher in Ruhe bleibt; sobald aber die innere Luft durch neu hinzugekommene verdichtet wird, so erhält sie über die äußere Luft, deren Dichtigkeit ungeändert geblieben ist, ein Uebergewicht an Kraft auf das Wasser, welches, der einzigen ihm dargebotenen Oeffnung folgend, durch das Röhrchen herausspritzt.

Wie lange kann das Wasser nur herausspritzen? Warum geht der Wasserstrahl immer niedriger? Wenn der Hals des Heronsballes sich nicht abschrauben läßt, oder keine Seitenröhre zur Füllung des Gefäßes da ist, so geschieht die Füllung, indem man die Luft durch Aufsaugung verdünnt und das Ende des Röhrchens in Wasser steckt. — Heron von Alexandrien lebte etwa 100 Jahre v. Chr.

Figur 50.



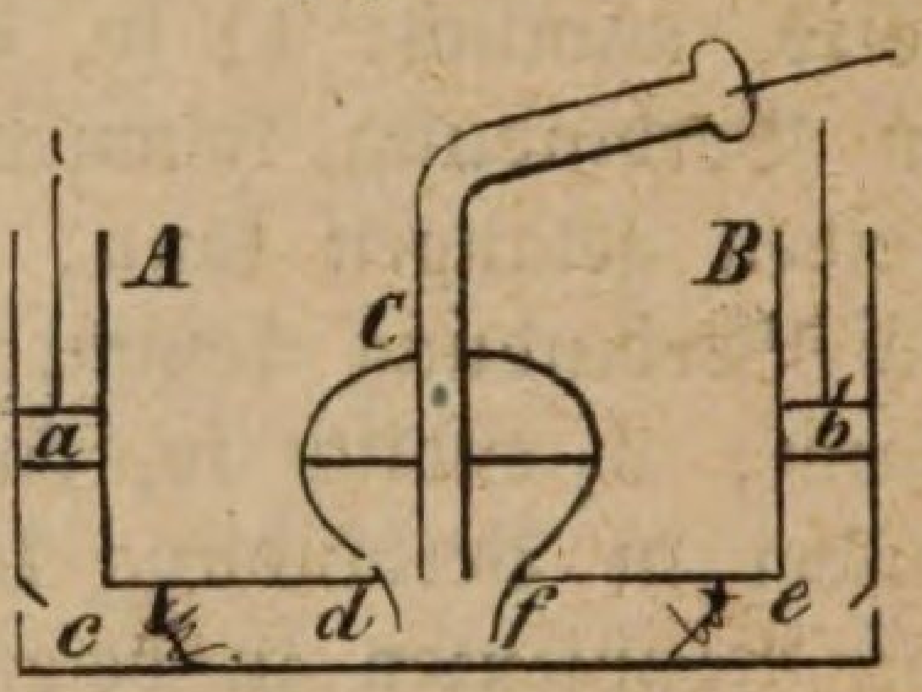
132. Auch beim Heronsbrunnen (Figur 50) erscheint verdichtete Luft als bewegende Kraft, nur daß beim Heronsballe die Verdichtung dadurch geschieht, daß in denselben Raum immer mehr und mehr Luft gebracht wird, beim Heronsbrunnen hingegen dadurch, daß dieselbe Menge Luft in einen immer kleineren Raum gedrängt wird. — Seine wesentlichen Theile sind: Zwei hohle Gefäße A und B über einander, wovon das obere A einen schüsselartigen Rand hat, und drei Röhren; von diesen beginnt die erste a im Deckel des oberen Gefäßes und geht senkrecht herab bis fast an den Boden des unteren Gefäßes; die zweite b beginnt im Deckel des unteren Gefäßes und geht senkrecht hinauf bis fast an den Deckel des oberen, die dritte endlich edc ist nur im oberen Gefäße und reicht bis fast an den Boden desselben. Der Theil ed geht abzuschrauben und enthält den Hahn f zum Schließen und Oeffnen des gewöhnlich spitz zulaufenden Röhrchens. — Man schraubt ed ab, gießt durch dc mittelst eines Trichters Wasser in A ein, so viel, daß es nicht durch b nach B fließen kann, schraubt ed auf und schließt das Röhrchen durch f; hierauf gießt man Wasser durch a nach B. Sobald dadurch das untere Ende von a in Wasser zu stehen kommt, sieht man, wenn f geöffnet wird, aus e Wasser in die Höhe spritzen. — So wie das untere Ende von a im Wasser steht, ist die Luft im unteren und oberen Gefäße über dem Wasser und die in der Röhre b durch die beiden Wassermassen abgeschlossen. Je mehr nun Wasser durch a in B gegossen wird, indem vorher f geschlossen worden ist, auf einen desto kleineren Raum wird diese Luftmenge beschränkt; sie wird dadurch desto dichter und drückt desto stärker nach allen Seiten, also auch auf das Wasser in A, welches dadurch, wie im Heronsballe, in die Röhre cde gehoben, und durch diese, wenn man f öffnet, herausgetrieben wird.

Das herausspritzende Wasser ist das Wasser aus dem oberen Gefäße, es wird herausgetrieben durch die im Instrumente durch das Wasser im unteren Gefäße abgeschlossene und verdichtete Luft. Mancher natürliche Springbrunnen mag durch verdichtete Luft oder auch durch Dämpfe entstehen, so daß er also nicht aus hydrostatischen Gesetzen (§ 108) zu erklären ist.

133. Die **Feuerspritzen.** In der **Handfeuerspritze**, aus einem Stiefel und einem Kolben mit einer Kolbenstange bestehend, wird das Wasser in den durch das Heraufziehen des Kolbens im Stiefel entstandenen luftleeren Raum durch den Druck der äußeren Luft heraufgetrieben und durch den herabgehenden Kolben herausgetrieben.

Die **Schlauchspritze** (Figur 51) dagegen besteht aus einem Druckwerke und einem Windkessel, dessen Wirkung auf dem Heronsballe beruht. Die tragbaren Schlauchspritzen haben außer dem Windkessel nur eine Druckpumpe, die in jedes Gefäß mit Wasser gestellt werden kann; bei den fahrbaren dagegen ist auf Rädern ein Wasserkasten angebracht, in welchem sich zwei Druckpumpen A und B befinden, deren Kolben a und b mittelst Hebel so bewegt werden, daß sie abwechselnd auf und nieder gehen, zwischen ihnen der kupferne Windkessel C, welcher, mit den Pumpen durch Seitenröhren in Verbindung stehend, den ledernen Schlauch enthält, der mit dem fast bis auf seinen Boden reichenden kupfernen Steigrohre verbunden ist und außerhalb in ein kupfernes bewegliches Mundstück ausgeht. In jedem Stiefel ist ein nach innen, und in jedem Seitenrohre ein nach dem Windkessel sich öffnendes Ventil angebracht, c und d, so wie e und f. — Bei dem Heraufgehen eines Kolbens entsteht in dem zugehörigen Stiefel ein luftleerer Raum, die äußere Luft öffnet das Stiefelventil und treibt das Wasser hinein, welches bei gehöriger Höhe das Stiefelventil schließt; der hierauf heruntergehende Kolben preßt das innere Wasser zusammen, welches das Stiefelventil noch fester schließt, das Kesselventil aber öffnet und in den Kessel tritt. Sobald so viel Wasser im Kessel ist, daß das Ende des Steigrohrs hineintaucht, ist die Luft im Windkessel abgeschlossen, und wird durch fortgesetztes Pumpen, indem immer mehr Wasser eindringt, auch immer mehr verdichtet. Das Uebrige ist von selbst einleuchtend.

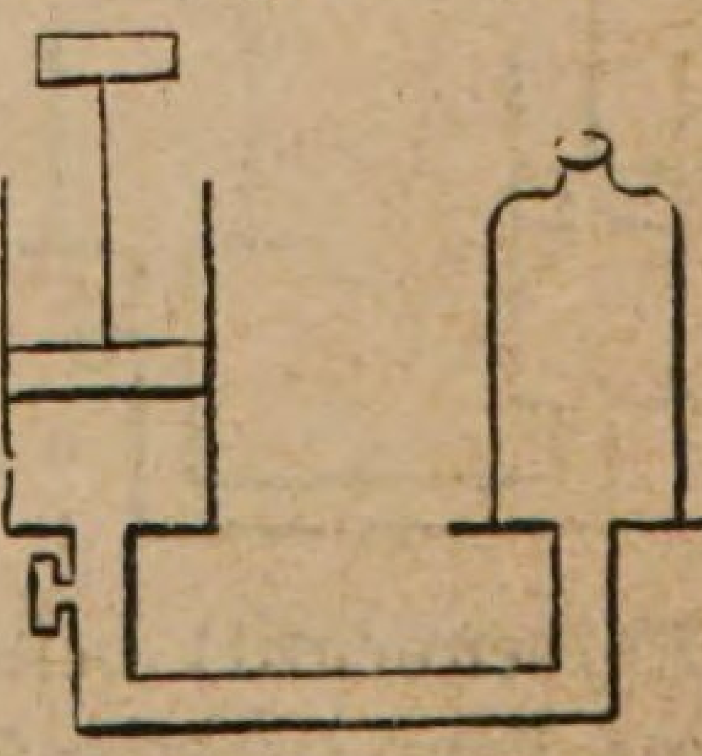
Figur 51.



134. Die **Luftpumpe** ist das wichtigste Instrument bei Versuchen über die Luft. Ihre Hauptbestimmung ist, die Luft zu verdünnen, wiewohl sie auch zu dem Entgegengesetzten, dem Verdichten der Luft, eingerichtet werden kann. Es giebt giebt zwei Hauptklassen von Luftpumpen, nämlich: **Hahnluftpumpen** und **Ventilluftpumpen.**

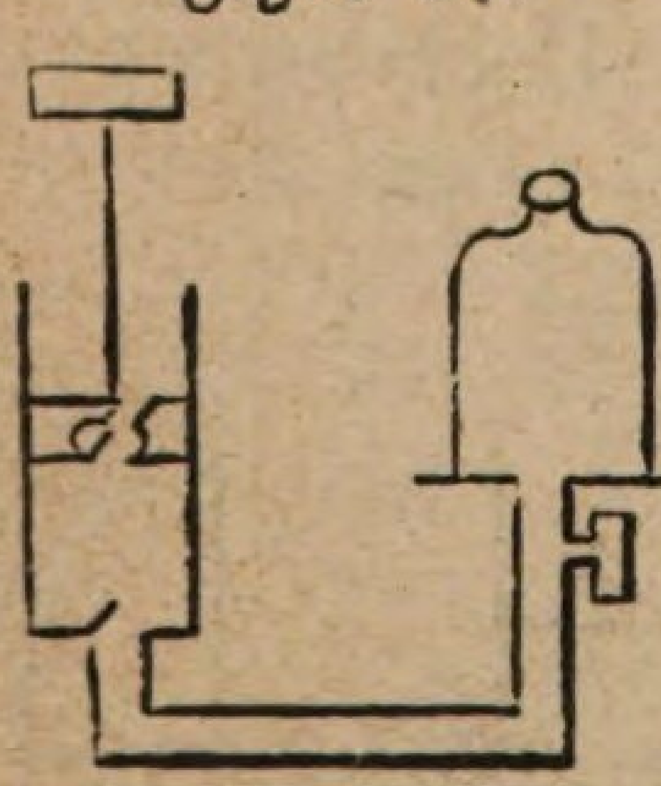
1) Die **Hahnluftpumpe** (Figur 52) hat folgende sechs wesentliche Theile: den **Stiefel**, einen hohlen Metallzylinder; den **Stempel** oder **Kolben**, einen niedrigen massiven Zylinder, der in jenen genau paßt und mittelst eines an der Kolbenstange angebrachten Handgriffes, oder mittelst eines durch eine Kurbel bewegten, in die gezahnte Kolbenstange eingreifenden gezahnten Rades herauf und herunter bewegt wird; die **Röhre**,

Figur 52.



welche sich an die Durchbohrung des sehr genau eben abgeschliffenen metallenen **Tellers**, an den jetzt zweckmäßig eine Glasplatte gekittet wird, anschließt; den **Rezipienten**, gewöhnlich eine gläserne Glocke oder Kampane, die, auf den Teller gesetzt, die Oeffnung bedeckt, und aus welcher die Luft ausgepumpt wird; endlich den **Hahn** in der Röhre, der eine doppelte Bohrung hat und auf dreifache Art gedreht wird, nämlich: 1) so, daß der Rezipient und der Stiefel mit einander in Verbindung kommen, und dabei die äußere Luft in keinen von beiden gelangen kann; 2) so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, diese aber nicht in den Rezipienten dringen kann; 3) endlich so, daß der Rezipient und die äußere Luft mit einander in Verbindung kommen. — Um nun die Verdünnung der Luft im Rezipienten zu bewirken, verfährt man, wie folgt: Ist der Kolben nicht schon unten, so drehe man den Hahn so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, drücke hierauf den Kolben herab; drehe den Hahn so, daß der Stiefel und der Rezipient in Verbindung kommen, ziehe den Kolben in die Höhe, drehe den Hahn wieder so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, drücke den Kolben herab u. s. w.; d. h. ist der Kolben unten, so muß man, ehe man ihn heraufzieht, zuerst die Verbindung zwischen dem Stiefel und dem Rezipienten bewirken, und ist er oben, so muß man, ehe man ihn herabdrückt, vorerst die Verbindung zwischen dem Stiefel und der Atmosphäre herstellen. — Daß auf diese Art die Luftverdünnung stattgefunden haben muß, läßt sich leicht übersehen: Ist der Kolben unten und dabei der Stiefel und der Rezipient mit einander in Verbindung, so entsteht im Stiefel bei jedesmaligem Heraufgehen des Kolbens ein luftleerer Raum, in den aber die Luft aus dem Rezipienten sofort vermöge ihrer Ausdehnsamkeit eindringt und dadurch verdünnt wird, da sie nun einen weit größeren Raum (den Stiefel, die Röhre und den Rezipienten) einnimmt. Wenn nun hierauf dem Hahne die Drehung, wodurch der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, gegeben und der Kolben heruntergedrückt wird, so wird dadurch die Luft aus dem Stiefel herausgetrieben u. s. w. Beim Verdünnen der Luft werden nur die beiden ersten Drehungen des Hahnes abwechselnd gebraucht, die dritte aber dann, wenn man mit dem Experimentiren aufhören, den Rezipienten wieder mit Luft füllen, die Glocke herunternehmen, überhaupt Alles wieder in den natürlichen Zustand versetzen will.

Figur 53.



2) Die **Ventilluftpumpe** (Figur 53) hat außer denselben Hauptheilen, wie die Hahnluftpumpe, noch zwei **Ventile** (Blasen- oder Kegelventile), von denen sich das eine am Boden des Stiefels (Bodenventil), das andere aber im Kolben (Kolbenventil) befindet; jenes öffnet sich bei überwiegendem Luftdrucke aus dem Rezipienten nach dem Stiefel, dieses aus dem Stiefel nach der

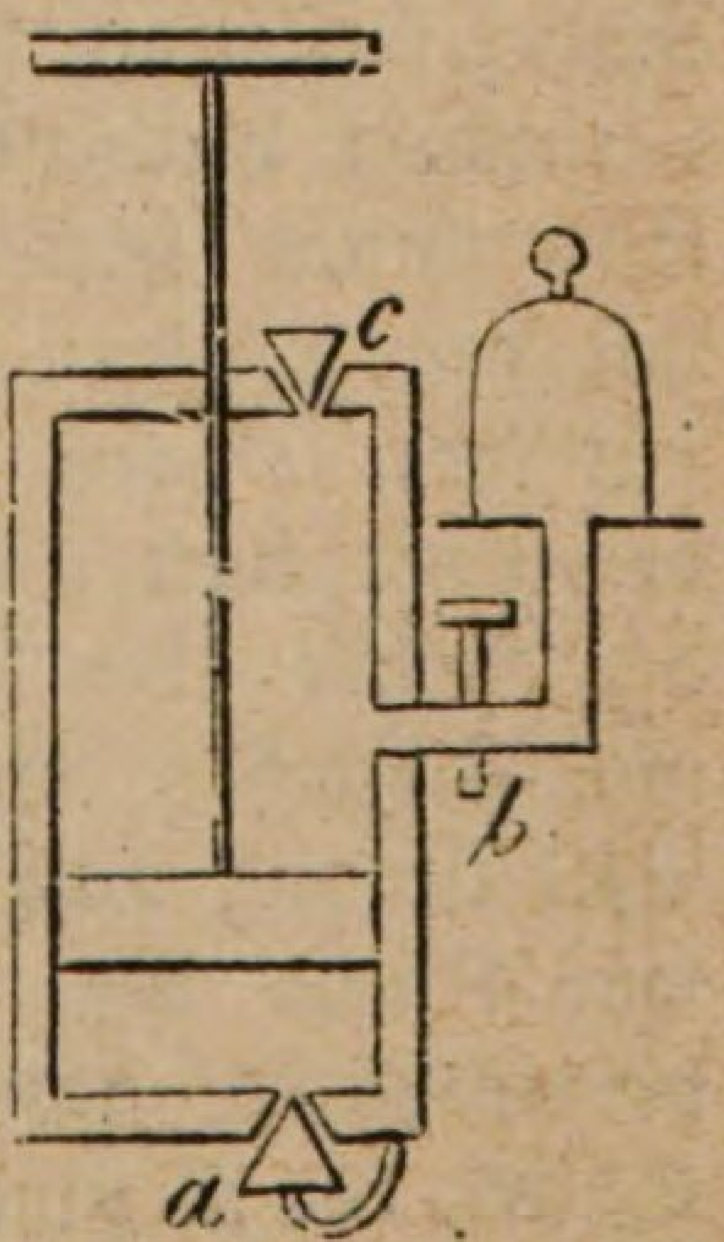
Atmosphäre, und sie schließen sich im umgekehrten Falle. Der Hahn hat hier nur die Bestimmung, nach Erforderniß die Verbindung des Rezipienten mit der äußeren Luft oder mit dem Stiefel zu bewirken. — Um hier im Rezipienten die Luft zu verdünnen, hat man nur nöthig, den Kolben abwechselnd herauf und herunter zu bewegen, nachdem zuerst mittelst des Hahnes der Rezipient und der Stiefel mit einander in Verbindung gesetzt worden sind; denn: wird der Kolben, den wir uns wieder am Boden des Stiefels denken, heraufgezogen, so entsteht im Stiefel ein luftleerer Raum, und es findet daher auf das Bodenventil kein Druck von oben herab statt, wohl aber von unten herauf durch die sich ausdehnende Luft des Rezipienten, welche jenes daher öffnet, in den Stiefel strömt und hierdurch verdünnt wird. Das Kolbenventil muß dabei immer geschlossen bleiben, da die äußere Luft, als die dichtere, auf dasselbe stärker herabdrückt, als die innere verdünnte hinauf. Wenn man nun hierauf den Kolben herabdrückt, so verdichtet sich die Luft im Stiefel immer mehr, schließt das Bodenventil und öffnet, wenn sie dichter geworden ist als die äußere Luft, das Kolbenventil, durch welches sie nach außen entweicht u. s. w.

3) Bei beiden Hauptarten von Luftpumpen findet eine Verdünnung der abgeschlossenen Luft nur beim Hinaufgehen des Kolbens statt, so wie beim Herabgehen desselben nur ein Heraustreiben eines Theiles dieser Luft. Beim Hinaufgehen des Kolbens tritt die Luft aus dem Rezipienten in den Stiefel, beim Herabgehen wird diese Luft aus dem Stiefel in die Atmosphäre herausgetrieben. Um nun ohne Unterbrechung die innere Luft zu verdünnen und herauszuschaffen, verbindet man mit dem Rezipienten zwei Stiefel und trifft die Einrichtung in der Bewegung der Kolben, daß der eine herabgeht, während der andere hinaufgeht. Es giebt daher ein- und zweistieflige Hahn- und Ventilpumpen.

Selbststeuerung — Steuerungshähne und Sperrhähne.

4) Die bisher betrachteten Luftpumpen, bei welchen eine Luftverdünnung nur bei der Kolbenbewegung nach der einen Richtung bewirkt wird, heißen einfachwirkende; Luftpumpen dagegen, bei welchen bei jeder Kolbenbewegung eine Luftverdünnung stattfindet, werden doppeltwirkende genannt. Die leicht zu verstehende Figur 54 giebt Mohr's doppeltwirkende Luftpumpe an. Es sind a und c nach außen sich öffnende Kegelventile, von welchen das untere a durch eine Feder angedrückt wird. Bei b befindet sich die Röhre nach dem Rezipienten; ein einfacher Hahn in dieser Röhre, dicht am Stiefel, dient dazu, den Rezipienten nach Erforderniß mit dem Raum des Stiefels unter oder über dem Kolben in Verbindung zu setzen oder diese Verbindung aufzuheben. Ist der Kolben oben und

Figur 54.



wird er herabgedrückt, so entsteht über demselben ein luftleerer Raum — wird nun, sobald der Kolben bei b vorüber ist, durch Drehung des Hahns die Verbindung zwischen dem Rezipienten und dem Stiefel hergestellt, so strömt die Luft aus jenem in diesen und die erste Luftverdünnung ist bewirkt, während die Luft unter dem Kolben verdichtet wird und durch das Ventil a entweicht. Gelangt der Kolben unten an, so wird b geschlossen und der Kolben heraufgezogen, wodurch unter ihm ein luftleerer Raum entsteht; sobald er bei b vorüber ist, wird b geöffnet und die zweite Luftverdünnung tritt ein, während die Luft über dem Kolben verdichtet wird und durch das Ventil c entweicht.

5) Zur Beurtheilung des Grades der Verdünnung der Luft im Rezipienten dienen die sogenannte Barometerprobe und die Birnprobe, welche letztere jetzt wenig gebraucht wird. Die Barometerprobe ist ein kleines Heberbarometer, dessen Quecksilbersäule auf 4 bis 6 Zoll verkürzt ist, auf einem eigenen Fußgestelle steht und so unter den Rezipienten gesetzt werden kann. Es fängt erst dann an zu sinken, wenn die innere Luft so stark verdünnt ist, daß sie nicht mehr eine Quecksilbersäule von 4 bis 6 Zoll zu tragen, oder genauer gesagt, ihr das Gleichgewicht zu halten im Stande ist. Ein gewöhnliches Heberbarometer würde dann, wenn es im Rezipienten Platz hätte, mit der Barometerprobe immer gleiche Barometerstände haben. Wie viele Male die innere Luft dünner, als die äußere geworden ist, läßt sich aus der Vergleichung der Barometerstände des in der Atmosphäre hängenden Barometers und der im Rezipienten stehenden Barometerprobe finden. Steht jenes auf 27″ 9‴ = 333‴, dieses auf 9‴, so verhält sich der Druck der äußeren Luft zu dem der inneren wie 333 : 9 oder wie 37 : 1; also nach dem Mariotte'schen Gesetze auch die Dichtigkeit der äußeren Luft zu der Dichtigkeit der inneren Luft, wie 37 : 1, d. h. die innere Luft ist 37 Mal dünner als die äußere geworden. Nicht selten sieht man eine andere barometrische Vorrichtung, bei welcher der Stand des Quecksilbers in einer Röhre bestimmt wird durch die gleichzeitige Wirkung der äußeren unverändert bleibenden und der inneren immer dünner werdenden Luft. Eine lange senkrechte, an beiden Enden offene Röhre steht nämlich mit dem unteren Ende in einem Gefäßchen mit Quecksilber und reicht mit dem oberen in den Rezipienten. Findet nun keine Verdünnung der Luft statt, so drückt die Luft im Rezipienten das Quecksilber in der Röhre eben so stark herunter, als die äußere herauf, daher es im Gefäßchen und in der Röhre gleich hoch steht; bei stattfindender Verdünnung muß es aber, wegen des kleiner werdenden Druckes herabwärts und des unverändert bleibenden, und deshalb nun größeren heraufwärts, natürlich diesem letzteren folgen und sich mithin erheben. Könnte der Rezipient ganz luftleer gemacht werden, so müßte das Quecksilber sich bis zur Höhe des jedesmaligen Barometerstandes erheben. Erhebt sich z. B. bei einem Barometerstand von 28 Zoll oder 336 Li-

nien das Quecksilber in dieser Barometerröhre auf 27 Zoll 11 Linien oder 335 Linien, so beträgt die Dichtigkeit der Luft im Rezipienten noch $^1/_{336}$, bei 27 Zoll 10 Linien oder 334 Linien noch $^2/_{336} = ^1/_{168}$, bei 27 Zoll oder 324 Linien noch $^{12}/_{336} = ^1/_{28}$ von der Dichtigkeit der äußeren Luft.

Wenn man weiß, in welchem Verhältnisse der Raum des Stiefels zu dem des Rezipienten steht, so kann man schon, wenn der Kolben und die Ventile luftdicht schließen, aus der Anzahl der Kolbenzüge den Grad der Verdünnung einigermaßen richtig beurtheilen. Nehmen wir als Beispiele an, daß der innere Raum des Stiefels eben so groß, dann halb so groß und endlich doppelt so groß sei, so wird bei jedem Kolbenzuge die Dichtigkeit der Luft in derselben Ordnung auf $^1/_2$, $^2/_3$, $^1/_3$ derjenigen Dichtigkeit, welche sie beim Beginnen des Kolbenzuges hatte, gebracht, da sich die Luft der Glocke in den doppelten, anderthalbfachen und dreifachen Raum ausdehnt. Sechs Kolbenzüge bringen also die eingeschlossene Luft auf

$^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$, $^1/_{64}$,
$^2/_3$, $^4/_9$, $^8/_{27}$, $^{16}/_{81}$, $^{32}/_{243}$, $^{64}/_{729}$,
$^1/_3$, $^1/_9$, $^1/_{27}$, $^1/_{81}$, $^1/_{243}$, $^1/_{729}$,

der natürlichen Dichtigkeit.

Der sogenannte schädliche Raum verhindert die Verdünnung in diesen Zahlenreihen; sie kann jedoch bei guten Luftpumpen auf $^1/_{200}$, ja durch Entfernung der Wasserdünste mittelst unter den Rezipienten gestellter Schwefelsäure oder Chlorcalcium auf $^1/_{500}$ gebracht werden.

Quecksilber- und Wasserluftpumpen sind mit Quecksilber oder Wasser vollgefüllte Gefäße, in denen ein luftleerer Raum hervorgebracht wird, indem die Flüssigkeit durch senkrechte Röhren abfließt.

Vortheile und Nachtheile einer jeden Hauptart der Luftpumpen. — Die gewöhnlichsten Experimente mit der Luftpumpe sind folgende:

1) Der Rezipient hängt fest an dem Teller, wenn die Luft in ihm verdünnt worden ist, kann aber mit gewöhnlicher Leichtigkeit herabgenommen werden, sobald wieder Luft hineingelassen worden ist.

2) Die Magdeburgischen Halbkugeln lassen sich, wenn die Luft aus ihnen möglichst ausgepumpt worden ist, oft nicht mit der größten Gewalt auseinanderreißen.

3) Quecksilber kann mittelst des Luftdruckes durch Holz getrieben werden.

4) Wird ein an beiden Enden offener Zylinder auf den Teller gesetzt und das obere Ende mit dem flachen Handteller zugedeckt, so wird die Hand fest angedrückt; wird auch nur die Oeffnung im Teller mit einem Finger bedeckt, so wird dieser fest auf die Oeffnung angedrückt.

5) Blasen und Glasplatten, auf die Oeffnung dieses Zylinders gebracht, können durch den Druck der Luft gesprengt werden.

6) Eine in Falten gelegte und zugebundene Blase dehnt sich unter dem Rezipienten, wenn die Luft verdünnt wird, völlig aus und fällt wieder zusammen, sobald die Luft hineingelassen wird; ein Gleiches findet bei einem Stücke Sauerteig statt. Ein runzlicher Apfel wird unter dem Rezipienten voll und glatt. An der Blase müßten sich dieselben Erscheinungen zeigen, wenn man mit ihr einen hohen Berg hinauf- und herunterginge.

7) Ein genau verschlossenes Glas in den Rezipienten gestellt, springt bei hinlänglicher Verdünnung der Luft.

8) Der Heronsball springt unter dem Rezipienten, sobald nur die Verdünnung beginnt.

9) Der Heber fließt nicht im luftleeren Raume.

10) Aus Wasser, Bier, Milch u. s. w. sieht man im luftverdünnten Raume Luftblasen aufsteigen; eben so beim Holze, welches außerdem noch, wenn wieder Luft in den Rezipienten eingelassen wird, tiefer einsinkt.

11) Steht eine enge, oben zugeschmolzene Röhre mit einem Rezipienten so in Verbindung, daß ihr unteres Ende in ein unter denselben gestelltes Gefäß mit Wasser reicht, so treten während des Auspumpens Luftblasen aus dem Wasser (nach 10); und so wie in den Rezipienten Luft gelassen wird, hebt sich das Wasser zu einer bedeutenden Höhe in der Röhre und sinkt bei wieder erfolgter Verdünnung.

12) Ein Dukaten und eine Flaumfeder fallen im luftleeren Raume gleich schnell herab (§ 24).

Andere Versuche, deren Erklärung auf noch vorzutragenden Lehren beruht, sind z. B:

13) Hängen an einem Waagebalken zwei Körper von gleichem Gewicht, aber der eine sehr klein, der andere von großem Umfange, und bringt man sie unter den Recipienten der Luftpumpe, so sinkt bei Verdünnung der Luft der Körper von größerem Volumen herunter (§ 135).

14) Eine Glocke giebt im luftleeren Raume keinen Schall (§ 144. 1).

15) Ein Feuerzeug giebt in sehr verdünnter Luft keinen Funken, ein Licht erlischt, das Thier kommt um.

16) Alle Flüssigkeiten verdunsten im luftleeren Raume und erzeugen dadurch Kälte; man pflegt durch Verdunstung des Schwefeläthers, auch mit Hilfe der Schwefelsäure unter dem Rezipienten Wasser zum Gefrieren zu bringen. — Lauwarmes Wasser kommt zum Sieden (§ 189. 4).

Mehrere von diesen Versuchen erfordern besondere Vorrichtungen am Rezipienten, deren Erklärung dem mündlichen Vortrage überlassen bleiben muß.

Anwendung der Luftpumpe im Großen bei den atmosphärischen Eisenbahnen. —

Otto v. Guerike (1620—1686), Rathsherr zu Magdeburg, erfand die Luftpumpe und experimentirte mit ihr zu Regensburg 1654 vor Kaiser Ferdinand III. Experimenta magdeburgica. — Otto v. Guerike'sche Lehre oder vacuum Guerikianum, auch Boylianum (§ 126).

135. Auch in der Luft verliert jeder Körper von seinem absoluten Gewichte so viel, als die durch ihn verdrängte Luft wiegt (§ 115); es muß daher ein großer Körper mehr als ein kleiner, und ein und derselbe Körper in den unteren dichteren Schichten der Atmosphäre von seinem Gewichte mehr als in den oberen dünneren verlieren; dort also gleichsam leichter als hier sein. Das Verhältniß der specifischen Gewichte der Luft und des betrachteten Körpers entscheidet es auch hier, ob dieser in ihr steigen, fallen oder schweben muß. In der Atmosphäre kann ein und derselbe Körper steigen, schweben und fallen, je nachdem die Höhe ist, in der er sich befindet. Schwebt ein Körper in der Luft, so kann er nur bei Verminderung seines absoluten Gewichtes steigen, wie bei Vermehrung desselben sinken; die Verminderung entsteht, wenn er bei unverändertem Volumen leichter, oder bei unverändertem Gewichte größer wird; die Vermehrung auf die entgegengesetzte Art. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper in der Atmosphäre aufsteigt, ist desto größer, um je mehr sein Gewicht kleiner ist, als das der verdrängten Luftmasse. Unter Steigkraft oder Hebungskraft eines aufsteigenden Körpers versteht man den Ueberschuß des Gewichtes der von ihm verdrängten Luft über sein Gewicht. Je höher ein Körper steigt, desto kleiner

wird seine Steigkraft, und kommt er in diejenige Höhe, wo die Luft mit ihm dasselbe spezifische Gewicht hat, so wird sie gleich Null, und es erfolgt ein Stillstand desselben in der Atmosphäre.

Das absolute Gewicht eines Körpers in strengster Bedeutung könnte also nur durch Abwägung im luftleeren Raume gefunden werden. Das Manometer oder Dasymeter, ein von Otto von Guerike erfundener Dichtigkeitsmesser der Luft, gründet sich auf den ungleichen Gewichtsverlust verschieden großer Körper in der Luft.

136. 1) Die Luftballons, Luftbälle, Aërostaten oder Luftschiffe gründen sich darauf, daß jeder Körper, welcher spezifisch leichter ist, als die atmosphärische Luft an der Stelle, wo er sich befindet, so lange in ihr steigen müsse, bis er eine Höhe erlangt, in welcher die Luft und er selbst von gleichem spezifischen Gewichte sind. Eine Hohlkugel aus leichter fester Materie (Goldschlägerhaut, Seidenzeug ꝛc. ꝛc.), mit gewöhnlicher Luft gefüllt, kann nicht aufsteigen; da ja schon die eingeschlossene Luft für sich nicht aufsteigen würde, um so weniger aber umgeben mit einer Hülle, die, so leicht sie auch immer sein mag, mehr wiegt, als die durch sie verdrängte Luft. Erwärmte atmosphärische Luft ist aber leichter als kältere, und zwar desto leichter, je wärmer sie ist (§ 182. 1); sie steigt daher aufwärts und ist mithin auch im Stande, eine sie umschließende Hülle, wenn diese nicht so schwer ist, daß durch sie ein eben so großes oder noch größeres Gewicht als das der verdrängten Luft entsteht, mit in die Höhe zu nehmen. Dasselbe gilt, wenn die Kugel mit Wasserstoffgas (§ 121), welches, wenn es auch nicht rein ist, doch immer 6—7 Mal, oder mit Kohlen-Wasserstoffgas, welches zur Gasbeleuchtung gebraucht wird (§ 241. II) und 4 Mal leichter als die atmosphärische Luft ist, gefüllt wird. Auf der Füllung einer möglichst leichten Hohlkugel mit einer Luftart, die mehrere Male leichter als die atmosphärische Luft ist, wodurch das Aufsteigen bewirkt wird, beruhen die Luftschiffe, welche Mongolfièren oder Charlièren heißen, je nachdem sie mit erwärmter atmosphärischer Luft oder mit Wasserstoffgase gefüllt werden. Jene Art der Füllung wendeten 1783 zuerst die Gebrüder Mongolfière, Papierfabrikanten zu Annonay in Frankreich, an, diese dagegen Professor Charles in Paris etwas später desselben Jahres. Green füllte in neuester Zeit seinen Ballon mit Leuchtgas.

2) Zur Beurtheilung der Steigkraft der Aërostaten im Allgemeinen dienen folgende Andeutungen: Aus den Barometerständen lassen sich nicht nur die Höhen, sondern auch die Dichtigkeiten der Luft, folglich auch die Gewichte gleicher Luftmassen in verschiedenen Höhen finden. Bei den Barometerständen von 7, $9^1/_3$, 14 Zoll ist auch die Luft $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$ Mal so dicht und hat daher $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$ so viel Gewicht, als bei dem Barometerstande von 28 Zoll. Nun hat aber die atmosphärische Luft in der Höhe von $^1/_4$ Meile $^4/_5$ von der Dichtigkeit der untersten, von $^1/_2$ Meile $^3/_5$, von 1 Meile $^2/_5$, von 2 Meilen $^1/_6$, von 3 Meilen $^1/_{14}$, von 10 Meilen $^1/_{7000}$; wiegt also bei uns ein Kubikfuß Luft $2^3/_4$ Loth (nämlich nach Biot 11 K.-F.

bei der Temperatur Null fast 1 Pfd.), so wiegt ein Kubikfuß Luft in der Höhe von $^1/_4$ Meile nur $^4/_5 . ^{11}/_4 = 2^1/_5$ Loth, von $^1/_2$ Meile nur $^3/_5 . ^{11}/_4 = 1^{13}/_{20}$ Loth, von einer Meile nur $^2/_5 . ^{11}/_4 = 1^1/_{10}$ Loth 2c. 2c. Verdrängt nun ein Luftball, welcher mit Hülle und Füllung etwa 400 Pfd. wiegt, eine Luftmasse von 6000 Kubikfuß, so wiegt diese $\frac{6000 . 11}{4 . 32}$ = fast 516 Pfd., und seine Steigkraft ist = 516 — 400 = 116 Pfd., welche an ihn angehangen, sein Steigen verhindern würden. Wie hoch steigt er nun? so hoch, bis die von ihm verdrängte Luft so viel wiegt, als er selbst, hier also bis zu jener Höhe, in welcher 6000 K.-F. gerade 400 Pfd. alten Gewichts wiegen; wiegt in dieser Höhe ein Kubikfuß Luft x Loth, so ist 6000 x = 400 . 32, also x = $2^2/_{15}$ Loth; das giebt eine Höhe über $^1/_4$ Meile, weil in dieser Höhe das Gewicht $2^1/_5$ Loth ist, also etwa 7000 Fuß. Oder auch nach dem Mariotte-schen Gesetze, wenn x den Barometerstand bedeutet, 516 : 400 = 28 : x, also x = 21″, 7, welcher Barometerstand auch auf etwa 7000 Fuß schließen läßt, da das Barometer auf dem 7600 Fuß hohen St. Gotthardt 21 Zoll hoch steht (§ 127).

3) Hätte bei einer Mongolfière die Kugel 35 Fuß im Durchmesser, wäre also ihr Kubikinhalt (nach $\frac{d^3 \pi}{6}$) fast 22450 Kubikfuß, so würde die verdrängte Luft von der Temperatur Null wiegen $\frac{22450 . 11}{4 . 32}$ = 1929 Pfd. Würde nun die Kugel mit erhitzter Luft gefüllt, welche um ein Drittheil leichter wäre, so würde ihr Gewicht zwei Drittheile von dem Gewichte der verdrängten betragen, also $\frac{2 . 1929}{3}$ = 1286 Pfd. und die Steigkraft des Ballons betrüge also 1929 — 1286 = 643 Pfund. Wird hiervon noch abgerechnet das Gewicht der Hülle, etwa 80 Pfd., des Schiffchens mit Zubehör, etwa 180 Pfd., und das zweier mitaufsteigender Menschen, etwa 260 Pfd., zusammen also 520 Pfd., so bliebe dem Balle noch eine Steigkraft von 643 — 520 = 123 Pfd.

4) Das Wasserstoffgas ist bei gleicher Ausdehnsamkeit mit der atmosphärischen Luft leichter als diese, etwa 6 Mal in dem unreinen Zustande, in welchem es bei den Charlièren gebraucht wird. Steigt nun ein mit diesem Gase gefüllter Ballon in die höheren, dünnere Luft enthaltenden Regionen der Atmosphäre, so wird er sich, wegen des nun geringeren Druckes von außen her, ausdehnen, selbst wenn er nicht voll gefüllt worden ist, was sich bis zum Zerplatzen desselben fortsetzen würde; wird aber durch ein Ventil Wasserstoffgas herausgelassen, so kann der Zustand, daß die innere Luft immer an 6 Mal leichter als die äußere ist, stets erhalten werden Der Schluß aber, daß dann der Ballon unverändert seine Steigkraft behalten müßte,

und zu steigen nie aufhören könnte, wäre falsch; weil nämlich der Unterschied zwischen den Gewichten der inneren und äußeren Luft, welche auf diese Weise mit der Höhe beide dünner werden, immer kleiner wird, z. B. 11000 K.-F. wiegen auf der Oberfläche der Erde bei der Temperatur Null 1000 Pfd., so viel Wasserstoff also 166$^2/_3$ Pfd., der Unterschied beträgt also 833$^1/_3$ Pfd.; $^1/_4$ Meile hoch, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^4/_5$ beträgt, wiegen jene nur 800 Pfd., diese also 133$^2/_3$ Pfd., der Unterschied ist also nur 666$^1/_3$; $^1/_2$ Meile hoch, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^3/_5$ beträgt, beträgt der Unterschied nur 600 — 200 = 400 Pfd. Hierzu kommt aber noch, daß das Gewicht des Schiffchens, der Hülle des Ballons und der mitreisenden Personen in allen Höhen unverändert bleiben (genau genommen, § 135, sich sogar etwas vergrößern), weshalb die eigentliche Steigkraft schneller abnehmen muß. Hätte der Ballon 11000 K.-F. Inhalt so betrüge:

a) das Gewicht der verdrängten Luft		1000 Pfd.,
b) das des Wasserstoffgases . .	166 Pfd.	
c) das des Schiffchens etwa .	190 „	886 Pfd.,
d) das der Hülle	80 „	
e) das dreier Personen	450 „	
	also Steigkraft . .	114 Pfd.

Steigt nun der Ballon auf, so bleiben c, d, e ungeändert, aber a und b ändern sich; $^1/_4$ Meile hoch, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^4/_5$ beträgt, steht:

a)		800 Pfd.,
b)	133 Pfd.	. . . . 853 Pfd.,
c+d+e)	720 Pfd.	

woraus hervorgeht, daß das Luftschiff sich nicht ganz eine Viertelmeile erheben würde.

5) Hinsichtlich der Mittel, welche der Luftschiffer hat, die Steigkraft des Ballons zu vermehren und zu vermindern, also wenn dieser zum Stillstande gekommen ist, ihn steigen oder sich senken zu lassen, ist noch Vieles zu wünschen übrig; die vorzüglichsten sind aber folgende: Eine Mongolfière steigt durch Auswerfen von mitgenommenem Ballast (Sand) und durch Vermehrung der Wärme, indem das Feuer der Glutpfanne verstärkt, oder die Anzahl der brennenden Weingeistlampen vermehrt wird; sie sinkt durch Verminderung der Wärme, indem das Feuer der Glutpfanne geschwächt, oder einige Lampen, oft alle, ausgelöscht werden. Eine Charlière steigt, wenn mitgenommener Ballast ausgeworfen wird; sie sinkt, wenn Wasserstoffgas aus dem Ballon herausgelassen wird, was zur Folge hat, daß unter dem dadurch größer gewordenen Drucke der Atmosphäre der Ballon kleiner, also spezifisch schwerer wird und sich deshalb senkt.

6) Ein Luftschiff horizontal zu bewegen, versteht man, trotz vieler Bemühungen, noch gar nicht, und kann bis jetzt nach einem

festgestellten Ziele nur dadurch gelangen, daß man sich, da die Winde in verschiedenen Höhen auch nach verschiedenen Richtungen wehen, so lange erhebt und senkt, bis man in eine Region kommt, in welcher der Wind in der Richtung nach dem Ziele weht, was freilich nicht immer stattfindet.

7) Aufsteigende Luftschiffe hatten nach Beobachtungen 6, 7, 8 bis 10 Fuß Geschwindigkeit, so daß also bei der letzteren Geschwindigkeit ein Luftschiff sich $^1/_4$ Meile oder 6000 Fuß erhebt in 600 Sekunden oder 10 Minuten; die Geschwindigkeit aber, mit welcher Aërostaten vom Winde fortgetrieben werden, ist oft sehr groß, 5 bis 20 Meilen in einer Stunde, z. B. 1804 den 16. Dezember stieg in Paris ein Ballon auf und fiel 22 Stunden darauf, den 17. Dezember, bei Rom nieder, wobei mehr als 10 Meilen auf die Stunde kommen; eben so legte **Green** in Gesellschaft von **Holland** und **Mason** bei seiner 226sten Luftreise im November 1836 den Weg von London über Dover, den Kanal von Calais, die Niederlande bis nach Deutschland und zwar bis zur Lechmühle zwischen Dillhausen und Niederhausen im Herzogl. Nassauischen Amte Weilburg — in gerader Linie etwa 200 Stunden — binnen $17^1/_2$ Stunden zurück, wiewohl das Schiff über London 2 Stunden lang schwebte. Dabei schiffte er über den 5 Meilen breiten Kanal in 10 Minuten, während Blanchard [illegible] dazu $1^1/_2$ Stunde brauchte. Bei dieser bisher größten und [illegible]en Luftreise hielten sich die Reisenden an $^2/_3$ Stunden in einer mittleren Höhe von 10000 Fuß.

Aëronautik, Luftschiffkunst — Fallschirm. Berühmte Luftschiffer sind: **Pilatre des Rozier**, **d'Arlandes**, Graf **Zambeccari**, **Blanchard**, **Robertson**, **Garnerin**, **Green** u. s. w. Wissenschaftlicher Zwecke wegen machten Luftreisen: **Biot**, **Gay-Lussac**, **Sacharow**, **Forster** u. s. w. Die Franzosen benutzten den Luftballon im Kriege während der Revolution.

Sechster Abschnitt.

Vom Schalle.

137. **Schall** nennen wir jede Einwirkung auf unser Gehör; die Lehre vom Schalle heißt **Akustik**. Einen Schall bringt ein Körper hervor, wenn er mit hinlänglicher Geschwindigkeit schwingt (vibrirt, oszillirt), so schnell nämlich, daß seine Schwingungen nicht mehr zählbar sind; in Schwingungen können aber alle Körper versetzt werden, am meisten jedoch die festen und luftförmigen: jene vermöge ihrer Elastizität, diese vermöge ihrer Expansion. Je elastischer ein fester, je expansiver ein luftförmiger Körper ist, desto mehr eignet er sich zur Hervorbringung eines Schalles. Alle Mittel aber, die

Körper in Schwingungen zu bringen, lassen sich auf Stöße zurückführen, welche vorübergehende und sich eine Zeit lang wiederholende Formveränderungen oder Dichtigkeitsveränderungen veranlassen.

138. Klang bezeichnet den durch regelmäßig auf einander folgende Schwingungen erzeugten Schall, und ist der Gegensatz von Knall, Geräusch, Pochen, Sausen, Zischen, Knistern, Gemurmel &c., welche Ausdrücke den durch unregelmäßige Schwingungen hervorgebrachten Schall bezeichnen. Klingende Körper, wie Glocken und Saiten, setzen weit mehr Elastizität voraus, als solche, die nur ein Geräusch, Knistern u. s. w. hervorbringen. Ton bezieht sich lediglich auf die Höhe des Klanges; er ist desto höher oder tiefer, je schneller oder langsamer der Körper schwingt; je größer oder kleiner also die Zahl seiner Schwingungen für eine bestimmte Zeit ist.

139. Die Schwingungen schallender Körper sind dreifacher Art: Längen- oder Longitudinalschwingungen, Quer- oder Transversalschwingungen und drehende Schwingungen, je nachdem die Richtung der Bewegung längs der Hauptdimension des Körpers oder senkrecht auf dieselbe ist, oder die Schwingungen um die Achse des Körpers geschehen. Die am häufigsten vorkommenden Schwingungen sind die Longitudinal- und Transversalschwingungen.

Die festen Körper selbst theilen wir in Bezug auf den Schall nach Chladni ein: in fadenförmige, d. i. solche, bei denen die Länge vorherrschend ist, und in membranenartige, d. h. solche, bei denen Länge und Breite gleich stark hervortreten, und heben hier von den ersteren vorzugsweise die Saiten, von den letzteren vorzugsweise die Glasscheiben heraus.

140. 1) In Transversalschwingungen kann eine Saite auf verschiedene Arten versetzt werden, z. B. durch Streichen, wie bei der Violine, durch Schlagen, wie beim Klavier, durch Blasen, wie bei der Aeolsharfe, durch Zupfen, Reißen u. s. w. Durch diese Mittel wird die Saite aus ihrer geraden Gleichgewichtslage in eine gekrümmte gebracht, und dadurch verlängert; sie kehrt dann vermöge ihrer Elastizität von selbst in die ursprüngliche sich verkürzend zurück, geht darauf durch die erlangte Geschwindigkeit auf die andere Seite sich verlängernd in eine gekrümmte Lage, kehrt dann wieder in die gerade zurück, und macht so Schwingungen, welche immer kleiner werdend endlich aufhören, wie die Pendelschwingungen. Unter Schwingung verstehen einige den Weg aus der entferntesten gekrümmten Lage auf der einen Seite der geraden Lage bis zu der entferntesten gekrümmten auf der anderen Seite derselben; Andere aber den Hin- und Hergang des schwingenden Körpers, also das Doppelte von jenem Wege. — Jene Schwingungen mögen einfache Schwingungen, diese dagegen Doppelschwingungen heißen. Die Höhen der durch Transversalschwingungen der Saiten hervorgebrachten Töne hängen

ab von der Länge (L), der Dicke oder dem Durchmesser (D), dem spezifischen Gewicht (S) und von der Spannung (K) der Saiten, und zwar in der Art, wie es folgende, durch die Theorie des Pendels und durch die Erfahrung begründete Formel angiebt:

$$H : h = \frac{\sqrt{K}}{LD\sqrt{S}} : \frac{\sqrt{k}}{ld\sqrt{s}}$$

d. h. die Tonhöhen zweier klingenden Saiten verhalten sich zu einander, wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, dividirt durch die Produkte aus den Längen und den Durchmessern derselben. Also die Tonhöhen zweier Saiten aus demselben Stoff von gleicher Dicke und gleicher Spannung ($K = k$, $S = s$ und $D = d$) verhalten sich umgekehrt wie ihre Längen zu einander, d. h. die halb so lange Saite giebt einen doppelt so hohen Ton ꝛc., so wie bei gleicher Länge und gleicher Spannung ($L = l$, $S = s$ und $K = k$) umgekehrt wie die Dicken, d. h. die halb so dicke Saite giebt einen doppelt so hohen Ton u. s. w., und endlich bei gleicher Länge und gleicher Dicke ($L = l$, $S = s$ und $D = d$) wie gerade die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, d. h. die durch viermal so große Gewichte gespannte Saite giebt einen doppelt so hohen Ton u. s. w. Eben so folgt aus jener Hauptformel, daß Saiten von gleichen Längen, Dicken und Spannungen einerlei Töne geben, so wie auch nach der Proportionslehre das Verhältniß der Tonhöhen anzugeben ist, wenn von Länge, Dicke, Gewicht und Spannung bei den Saiten nur immer das Eine gleich gedacht wird.

Eine Messing-Saite giebt einen tiefern Ton als (wenn K.L.D gleich sind) die Darm-Saite. Der tiefste, in der Musik noch brauchbare Ton ist derjenige, der durch 32, und der höchste derjenige, der durch 8192 einfache Schwingungen oder halbsoviele Doppelschwingungen in einer Sekunde entsteht. Jener Ton ist das C einer 32füßigen, offenen Orgelpfeife, dieser das sogenannte fünf Mal gestrichene c. Savart nimmt an, daß der tiefste wahrnehmbare Ton durch 7, der höchste durch 24000 Doppelschwingungen in einer Sekunde hervorgebracht werde. — Wie beim Pendel ist die Schwingungsdauer (t) fast unabhängig von der Weite der Schwingung: der Ton einer Saite bleibt bis zum Verschwinden gleich, wenn auch die Schwingungen immer kleiner werden.

$$t = \frac{DL}{2}\sqrt{\frac{\pi . S}{2g . K}}$$

2) Eine und dieselbe Saite kann aber auf eine doppelte Art transversal schwingen, nämlich als Ganzes und in aliquoten Theilen. Im ersten Falle umfaßt die Schwingung die ganze Länge der Saite, so daß sich also alle Punkte derselben, die Endpunkte ausgenommen, gleichzeitig auf derselben Seite ihrer ursprünglichen geraden Lage befinden; im zweiten Falle theilt sich die Saite in mehrere gleiche Theile, von denen jeder für sich nach denselben Gesetzen transversal schwingt, doch so, daß je zwei benachbarte Theile nach entgegengesetzten Richtungen gleichzeitig schwingen; erheben sich also bei einer horizontalen Lage der Saite der 1., 3., 5. Theil, so senken sich zu derselben Zeit der 2., 4., 6. Theil. Die Punkte, von denen aus die benachbarten Theile nach entgegengesetzten Seiten

schwingen, also die Endpunkte der gleichen Theile, sind ruhende oder schwingungslose Punkte und heißen Schwingungsknoten. Schwingt die Saite als Ganzes, so giebt sie ihren möglichst tiefen Ton an, den Grundton; schwingt sie dagegen in aliquoten Theilen, so giebt sie einen desto höheren Ton an, in je mehr gleiche Theile sie sich getheilt hat.

Das hier Gesagte läßt sich mittelst des Monochords (Einsaits) oder Sonometers (Klangmessers) zeigen. — Wie macht man es, damit die Saite 2, 3, 4 Schwingungsknoten erhalte? Wie zeigt man durch rechtwinkelig gebogene Papierschnitzchen das Vorhandensein der Schwingungsknoten? Wind- oder Aeolsharfe. Die Vogel- oder Flageolettöne beweisen das Tönen der Saiten in aliquoten Theilen. — Eine Saite kann auch als Ganzes und in aliquoten Theilen zugleich schwingen und dadurch mehr als einen Ton angeben (Hauptton und Nebenton). — Schwingende Stäbe. — Die Stimmgabel, welche nach Chladni als ein gebogener, in drei aliquoten Theilen schwingender Stab zu betrachten ist, deren zwei Schwingungsknoten in der Krümmung nahe bei einander liegen, schwingt für gewöhnlich so, daß sich ihre Zinken abwechselnd nach innen oder außen bewegen.

3) So wie die ganze Saite den Grundton angiebt, so entspricht auch jedem Theile derselben ein bestimmter Ton. Die Zahl der Schwingungen, die ein gewisser Theil macht, während die ganze Saite Eine zurücklegt, heißt die Schwingungszahl oder Tonzahl des diesem Theile zugehörenden Tones, wie die Eins die Schwingungszahl des Grundtones ist. Die Hälfte einer Saite giebt bei unveränderter Spannung nach dem Gesetze der Tonhöhen einen höhern Ton, indem sie doppelt so schnell schwingt, als die ganze Saite. Der zur Hälfte der Saite gehörende Ton heißt die Oktave und seine Schwingungszahl ist zwei. Es ist also des Grundtones Saitenlänge 1 und seine Schwingungszahl 1; aber der Oktave Saitenlänge 1/2 und deren Schwingungszahl 2. Zwischen den Saitenlängen 1 und 1/2 liegen aber unzählig viele andere, welche durch immer kleiner werdende echte Brüche zwischen 1 und 1/2 ausgedrückt sind; dazu gehören eben so unzählig viele Töne, deren Schwingungszahlen wachsende unechte Brüche zwischen 1 und 2 bezeichnen. Unter den zwischen dem Grundtone und der Oktave liegenden unzählig vielen Tönen giebt es sechs, welche, mit ihnen in natürlicher Ordnung gehört, dem Ohre eine gewisse Befriedigung gewähren. Die Namen dieser acht Haupttöne, welche die Tonleiter oder Skale heißen, ihre Schwingungszahlen und die ihnen entsprechenden Saitenlängen giebt folgendes Schema an:

Grundton.	Sekunde.	gr. Terz.	Quart.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.	Namen,
C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,	
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	Schwingungszahlen,
1	8/9	4/5	3/4	2/3	3/5	8/15	1/2	Saitenlängen,

d. h. die Schwingungszahlen des Grundtones und der Sekunde verhalten sich zu einander wie 8 : 9, des Grundtones und der gr. Terz wie 4 : 5 u. s. w.; oder macht der Grundton 8 Schwingungen, so macht die Sekunde deren 9 in derselben Zeit; macht der Grundton 4, so macht die gr. Terz 5 u. s. w.; ferner verhalten sich die Saitenlängen des Grundtones und der Sekunde zu einander wie 9 : 8, des Grundtones und der gr. Terz wie 5 : 4 u. s. w.; oder ist die Saite des Grundtones 9′ lang, so ist die der Sekunde 8′ lang; hat die des Grundtones 5′ Länge, so muß die der gr. Terz 4′ lang sein u. s. w. Drückt man diese zwei Zahlenreihen in ganzen Zahlen aus, indem man die Brüche gleichnamig macht und ihre Nenner, da es sich hier nur um Verhältnisse handelt, ausläßt, so erhält man folgende Verhältnißzahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c	
24	27	30	32	36	40	45	48	Schwingungszahlen,
180	160	144	135	120	108	96	90	Saitenlängen.

Wenn die Saite am Monochorde statt in 180 z. B. in 192 getheilt wird, so folgen die Saitenlängen so auf einander:

$192,\ 170\frac{2}{3},\ 153\frac{3}{5},\ 144,\ 128,\ 115\frac{1}{5},\ 102\frac{2}{5},\ 96;$

denn $180 : 160 = 192 : x$, ferner

$180 : 144 = 192 : x$ u. s. w.

Die Oktave läßt sich als neuer Grundton betrachten und die Oktave derselben ebenfalls u. s. w. In jeder neuen Reihenfolge von 8 Tönen bleiben die Verhältnisse der Schwingungszahlen unverändert dieselben, stets in Bezug auf den zugehörenden Grundton; in Bezug auf c würde also:

die Tonleiter sein:	c,	d,	e,	f,	g,	a,	h,	c,
die Schwingungszahlen:	2,	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$	$\frac{15}{4}$	4,
die Saitenlängen:	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{1}{4}$.

Das Verhältniß der Schwingungszahlen zweier Töne nennt man das Intervall dieser Töne; die Bestimmung der Intervalle für je zwei auf einander folgende Töne in der Tonleiter ergiebt folgendes Resultat:

$$C : D = 24 : 27 = 8 : 9 = \frac{9}{8}$$
$$D : E = 27 : 30 = 9 : 10 = \frac{10}{9};$$

eben so führt $E : F$ auf $\frac{16}{15}$

$F : G$ — $\frac{9}{8}$

$G : A$ — $\frac{10}{9}$

$A : H$ — $\frac{9}{8}$

$H : c$ — $\frac{16}{15}$,

woraus hervorgeht, daß die ganze Tonleiter nur drei verschiedene Intervalle enthält, nämlich $\frac{9}{8}$ als Intervall eines großen ganzen Tones, $\frac{10}{9}$ eines kleinen ganzen Tones und $\frac{16}{15}$ eines halben Tones. Zwischen die Töne, deren Intervall einem ganzen Tone entspricht ($\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$), wird ein halber Ton eingeschaltet, also

an 5 Stellen, d. i. zwischen C und D, D und E, F und G, G und A und zwischen A und H (cis, es, fis, gis, b), wodurch die so vervollständigte Tonleiter 8 + 5 = 13 Töne erhält. Sie heißt die chromatische Tonleiter, die ursprüngliche, nur aus 8 Tönen bestehende dagegen die diatonische.

Außerdem hat jeder Grundton eine harte oder Dur-Tonleiter und eine weiche oder Moll-Tonleiter, die sich von einander dadurch unterscheiden, daß bei der letztern die Terz etwas niedriger ist, als bei der erstern, weshalb sie auch kleine Terz heißt (es niedriger als e). Aus der bisher betrachteten Dur-Tonleiter erhält man die Tonverhältnisse für die Moll-Tonleiter, wenn man sie um eine Oktave fortführt, das A zum Grundton annimmt und bis zur Oktave a fortführt:

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	64	72	80	90	96.

Die Moll-Tonleiter:	A	H	c	d	e	f	g	a
	40	45	48	54	60	64	72	80
	1	$^9/_8$	$^6/_5$	$^{27}/_{20}$	$^3/_2$	$^8/_5$	$^9/_5$	2.

Den halben Ton erhält man, indem man die Schwingungszahl des niedrigern mit $\frac{16}{15}$, des höhern mit $\frac{15}{16}$ multipizirt: für cis $48 \cdot \frac{16}{15} = 51^1/_5$ und des $54 \cdot \frac{15}{16} = 50^5/_8$; also findet zwischen cis und des — für welche auf dem Klavier nur eine Clavis — eine kleine Verschiedenheit statt.

Zwei gleichzeitig gehörte Töne bilden eine Konsonanz oder eine Dissonanz, je nachdem sie eine angenehme oder unangenehme Empfindung hervorbringen. Je öfter die Schwingungen zweier Töne züsammenfallen, durch je kleinere Zahlen ihr Intervall also ausgedrückt wird, desto mehr konsoniren sie. Die Moll-Tonart hat daher weniger Konsonanzen mit dem Grundton als die Dur-Tonart. Es konsoniren z. B.:

C und c (1 : 2) — C und E (4 : 5, große Terz)
Ac oder E G (5 : 6, kleine Terz) — C und G (2 : 3)
C und F (3 : 4) — C und A (3 : 5) ꝛc.,

aber es dissoniren z. B.:

C und D (8 : 9) — C und H (8 : 15) ꝛc.

Mehrere Töne bilden einen Akkord, der wieder konsonirend oder dissonirend ist, je nachdem es die Intervalle der ihn bildenden Töne sind. Konsonirende Akkorde sind:

der große Dreiklang oder der C-dur-Akkord C, E, G (4 : 5 : 6),
der kleine Dreiklang oder der C-moll-Akkord C, Es, G (10 : 12 : 15).

Bei den Dur-Tonarten ist der Dreiklang also durch den Grundton, die große Terz und die Quinte, bei den Moll-Tonarten dagegen durch den Grundton, die kleine Terz und die Quinte gebildet. Dort

ist das Intervall zwischen der großen Terz und der Quinte eine kleine Terz (5:6); hier zwischen der kleinen Terz und der Quinte dagegen eine große Terz (4:5).

Die acht Oktaven, welche die Musik umfaßt, werden mit den hier gebrauchten Buchstaben, theils des großen, theils des kleinen Alphabets mit Strichen, theils unten, theils oben, und ohne Striche bezeichnet. Die aufgestellten Zahlen (1, $^9/_8$, $^5/_4$ 2c.) geben nur die relativen Schwingungszahlen der Töne für jede Oktave an, die absoluten lassen sich jedoch mit ihrer Hülfe bestimmen, wenn die wirkliche Schwingungszahl von nur irgend einem bestimmten Tone, durch Versuche (durch das Monochord oder die Sirene [§ 142]) ausgemittelt worden ist. Man giebt für die absoluten Schwingungszahlen folgende Reihe an, deren tiefstes C der Ton einer 32füßigen, offenen Orgelpfeife ist, und deren zweites C das Kontra-C heißt:

$\underline{\underline{C}}$	$\underline{C}$	C	c	$\bar{c}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{\bar{c}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}}$
32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192.

Diese Zahlen reduziren sich, wenn von Doppelschwingungen, die immer aus einem Hin- und Hergange des schwingenden Körpers bestehen, die Rede ist, auf die Hälften. Für das $\bar{a}$ oder die a-Saite der Violine folgt aus dieser Reihe, wegen $\bar{c} : \bar{a} = 1 : {}^5/_3$ oder $512 : \bar{a} = 1 : {}^5/_3$, als Zahl der einfachen Schwingungen 853,3 oder 426,6 Doppelschwingungen; aber $\bar{a}$ macht nach der Stimmung des Berliner Theaters 437, der großen Oper zu Paris 431, der italienischen Oper zu Paris 424 und nach Scheibler's Messungen 443,56 solche Doppelschwingungen.

Die Orgeln reichen gewöhnlich nur bis zum drei Mal gestrichenen c. Bei einem Flügel, welcher vom Kontra-F bis zum vier Mal gestrichenen a reicht, würde also der tiefste Ton hervorgebracht durch $85^1/_3$, der höchste durch $6826^2/_3 = 4096 \cdot {}^5/_3$ einfache Schwingungen in der Sekunde. — Die nähere Auseinandersetzung der Tonarten, der Tonleiter, der gleich- und ungleich schwebenden Temperatur u. s. w. gehört in die Theorie der Musik.

4) Eine Saite wird in Longitudinalschwingungen versetzt, wenn man sie mittelst eines Bogens unter möglichst ungleichen Winkeln streicht. Die Schwingungen bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Ausdehnungen, oder in Verkürzungen und Verlängerungen der Saite in der Richtung ihrer Länge. Der Ton ist meist scharf und unangenehm; desto niedriger, je länger die Saite ist. Auch hier giebt es nach Weber und Savart Schwingungsknoten.

Glasstäbe und Glasröhren setzt man in Längenschwingungen durch Reiben mittelst eines nassen, wollenen oder seidenen Zeuges längs der Länge derselben. Die Knotenpunkte lassen sich entdecken, wenn der horizontal gehaltene Stab in der einen Hälfte gerieben wird, während die andere mit einigen leicht beweglichen Papierringen behangen ist.

141. 1) Klingende Gläser oder metallene Scheiben (regelmäßige Drei-, Vier-, Fünfecke, Kreise 2c.) sind hinsichtlich ihrer Schwingungen

klingenden Saiten, wenn sie sich in gleiche Theile theilen, sehr ähnlich. So wie: diese ruhende Punkte Schwingungsknoten haben, so haben jene: ruhende Linien Knotenlinien, von denen aus die Scheibentheile nach entgegengesetzten Seiten transversal, d. h. hier nach, auf der Scheibe senkrechten, Richtungen schwingen. Diese Knotenlinien bilden meist Figuren mannigfaltiger Art, wie Sterne mit mehr oder weniger Strahlen, Kreise mit und ohne Diameter, Parallellinien, geschnitten durch Parallellinien u. s. w.. Man nennt diese Figuren Klangfiguren oder, nach Chladni (1787), die Chladni'schen Figuren. Gehler VIII. Fig. 49—123.

Hervorgebracht und dem Auge sichtbar dargestellt werden diese Figuren am besten, indem man die mit gewöhnlichem, nicht staubartigem Streusande bestreute Scheibe, wenn sie nicht zu groß ist, blos mit zwei Fingern, sonst mittelst einer Doppelschraube, an einer Seite festhält, und sie an einer anderen Stelle des Randes mit einem wohlgeharzten Violinbogen senkrecht streicht. Die Versuche, bei denen man sich statt des Sandes einer dünnen Wasserschichte auf einzelnen Theilen, oder nur Wassertropfen auf einzelnen Stellen der Scheibe bedient, sind sehr interessant. Wird eine Glasröhre, in welcher längs der Länge Sand liegt, horizontal gehalten und mit befeuchtetem Lappen gerieben, so ordnet sich der Sand zu schraubenförmig gewundenen Knotenlinien. Strehlke schließt aus seinen Versuchen, die Knotenlinien seien immer gekrümmt und durchschnitten sich nicht; die geraden Linien seien nämlich Aeste hyperbolischer Kurven, das Durchschneiden aber nur scheinbar, indem, wo die Knotenlinien einander am nächsten kommen, die Schwingungen so schwach wären, daß durch sie der Sand nicht fortbewegt werden könnte.

2) Die Figur wird bestimmt durch die Höhe des Tones, welche nicht nur von der Größe, der Dicke und der Schwere der Scheibe, sondern auch einerseits von der durch das Halten gedämpften und andererseits von der gestrichenen Stelle abhängt. Bei Scheiben von verschiedener Beschaffenheit gehören zu demselben Tone verschiedene Figuren; dagegen ist bei derselben Scheibe mit jedem bestimmten Tone auch eine bestimmte Figur verknüpft, die nicht eher vollständig und scharf begrenzt erscheint, bis der Ton selbst ganz rein klingt. Dabei ist die Figur desto zusammengesetzter, je höher, und umgekehrt, desto einfacher, je niedriger der Ton ist.

Die Abhängigkeit der Figur vom Tone tritt am sichtbarsten hervor, wenn beim Streichen der Scheibe der Ton sich plötzlich ändert; entweder weil der Experimentator nicht gleichmäßig stark den Bogen andrückte oder damit abglitt u. s. w.; man sieht dabei eine Figur in die andere übergehen. — Glocken und runde, mit Wasser gefüllte Gefäße. — Wird in letzteren das Wasser mit Blüthenstaub bestreuet und der Rand des Glases mittelst eines Violinbogens gestrichen, so bilden sich in dem Blüthenstaube Figuren. Da die Elastizität mancher Körper nach verschiedenen Richtungen verschieden ist, so kann sich bei sonst gleichen Scheiben, hinsichtlich der Materie und der Form, und bei gleicher Behandlung derselben, doch eine Verschiedenheit in den Tönen und Klangfiguren zeigen, wie aus Savart's Versuchen hervorgeht. Aus solchen akustischen Versuchen lassen sich Schlüsse auf die Elastizität der Krystalle u. s. w. nach verschiedenen Richtungen machen.

142. 1) Von den luftförmigen Körpern betrachten wir hier in Bezug auf den Schall nur die atmosphärische Luft, und zwar zunächst in ihren regelmäßigen Schwingungen, wie sie sich vorzüglich bei den

Blase-Instrumenten darstellen, sodann als Fortpflanzungsmittel des Schalles überhaupt. Durch die Berührung eines klingenden, festen Körpers mittelst der Hände wird der Ton desselben sogleich verändert und durch Festhalten zum Aufhören gebracht; ein Zeichen, daß er in seinen Schwingungen gestört worden ist. Wird aber ein eben geblasenes Instrument in noch so vielen Punkten berührt, so bemerkt man in der Höhe des Tones nicht die geringste Aenderung, und man schließt daraus mit Recht, daß nicht die Materie, aus welcher das Instrument verfertigt ist, sondern die darin enthaltene Luft der tönende Körper sei, und dieses um so sicherer, wenn man erst bemerkt, daß die Höhe des Tones von der Länge der Luftsäule abhängt, und daß selbst aus sonst zu Schwingungen wegen eines besonders niederen Grades von Elastizität wenig geeigneten Materien, wie Blei, recht gut tönende Pfeifen verfertigt werden. Die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule sind Longitudinalschwingungen, die in abwechselnden, schnell auf einander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen bestehen. Auch hier kommen Schwingungsknoten vor; je mehr sich deren bilden, desto höher ist der Ton. Die zur Hervorbringung der Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule nöthigen Stöße werden auf zwei Hauptarten unter verschiedenen Modifikationen hervorgebracht, nämlich entweder durch einen hineingeblasenen, dünnen Luftstrom; oder durch ein im Innern der Pfeife sich befindendes und in Vibration versetztes, elastisches Blättchen, worüber die weiteren Betrachtungen das Nähere angeben werden.

Bei der chemischen Harmonika werden die Stöße ausgeübt durch die Verpuffungen des Knallgases; beim Trevelyan-Instrumente, Thermophon, durch die Schwankungen des erhitzten Wiegers auf der kalten bleiernen Unterlage, welche durch die Abkühlung des Wiegers und die Erwärmung der Unterlage verursacht werden. — Die Sirene von Cagniard de Latour, in welcher ein Luftstrom dadurch, daß die Röhre, in welcher er stattfindet, in schnell und regelmäßig auf einander folgenden Zeitintervallen abwechselnd geschlossen und geöffnet wird, Stöße auf die äußere Luft ausübt und sie dadurch zum Tönen bringt, ist ein besonders für die Tonlehre wichtiges Instrument. Sie wird gebraucht, zu zeigen, 1) daß Stöße, die regelmäßig und mit einer gewissen Geschwindigkeit auf einander folgen, Töne hervorbringen, 2) daß die Töne desto höher sind, je schneller die Aufeinanderfolge der Stöße ist, 3) kann man durch sie die absoluten Schwingungszahlen der Töne bestimmen.

Wie die Chladni'schen Figuren durch die bewegten und ruhenden Theile der Scheibe hervorgerufen werden, so die später entdeckten Oersted'schen Figuren durch die Bewegung der Luft über der vibrirenden Scheibe, welche auf die sie umgebende Luft nothwendig bewegend wirken muß. Wird nämlich eine Scheibe mit Bärlappsamen bestreut und darauf zum Tönen gebracht, so entsteht ein Tanz desselben über den bewegten Stellen der Scheibe; die Partikelchen erheben sich, bilden einen Staubwirbel, der beim Aufhören der Schwingungen der Scheibe auf dieselbe in kreisförmigen Häufchen niederfällt.

2) Man unterscheidet zwei Hauptarten von Pfeifen, nämlich Lippenpfeifen und Zungenpfeifen. In jenen wird die eingeschlossene Luft durch Hineinblasen eines schmalen Luftstromes in tönende Schwingungen gebracht, in diesen dagegen setzt ein hineingeblasener

Luftstrom zunächst ein elastisches Blatt in Schwingungen, welche sich der eingeschlossenen Luftsäule mittheilen. In jenen tönt also nur ein Körper, die eingeschlossene Luftsäule; in diesen aber tönen zwei Körper, das elastische Blatt und die eingeschlossene Luftsäule.

Die Lippenpfeifen sind doppelter Art, je nachdem sie mit Seitenöffnungen versehen sind oder nicht, und die letzteren sie wieder entweder an beiden Enden offen oder nur an einem, weshalb wir offene und gedeckte Lippenpfeifen unterscheiden.

Zu den Lippenpfeifen gehören auch die Orgelpfeifen, welche Flötenwerke heißen. Eine solche Orgelpfeife besteht aus dem Fuße und der eigentlichen Pfeife; jener Theil ist kegelförmig, dieser zylindrisch oder prismatisch, oder sie sind beide prismatisch. Zwischen beiden ist eine Scheidewand, die nur einen Spalt offen läßt, über welchem sich von außen ein Einschnitt in das Instrument, das sogenannte Mundloch, befindet, dessen beide nach innen gebogene Ränder, Lippen, die obere und die untere, heißen. Wird nun mittelst eines Blasebalges Luft in den Fuß geblasen, so tritt diese als Luftstrom durch den Spalt, bricht sich an der oberen Lippe so, daß ein Theil zum Mundloch nach außen tritt, der andere aber als dünne Luftschichte in die eigentliche Pfeife dringt und deren Luftsäule in Schwingungen versetzt.

Ist die Pfeife gedeckt, so giebt sie ihren tiefsten Ton an, wenn die eingeschlossene Luftsäule in ihrer ganzen Ausdehnung schwingt, was bei schwächerem Anblasen geschieht; sie giebt aber höhere Töne an, wenn sie in aliquoten Theilen schwingt; wenn also Schwingungsknoten entstehen, was durch stärkeres Anblasen hervorgebracht wird. Bei Pfeifen verschiedener Länge verhalten sich die Höhen der entsprechenden tiefsten Töne umgekehrt wie die Längen der Pfeifen; Pfeifen, deren Längen durch 1, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ausgedrückt werden, geben also den Grundton, die Oktave, die Quinte von dieser Oktave und die doppelte Oktave, z. B. C, c, g, $\bar{c}$.

Eine offene Pfeife, mäßig angeblasen, giebt als tiefsten Ton die Oktave von dem tiefsten Tone einer eben so langen gedeckten Pfeife; woraus wir den Schluß ziehen, daß bei den offenen Pfeifen die eingeschlossene Luft niemals als Ganzes, sondern immer in aliquoten Theilen schwingt: bei dem tiefsten Tone schon in zwei Theilen, so daß sich also in der Mitte ein Schwingungsknoten bildet, und man sich die offene Pfeife gleichsam aus zwei gedeckten bestehend denken kann. Sollten mithin die tiefsten Töne einer offenen und einer gedeckten Pfeife einander gleich sein, so muß die offene doppelt so lang sein, als die gedeckte. Bei verstärktem Anblasen schwingt die Luftsäule in mehreren aliquoten Theilen, es bilden sich mehrere Schwingungsknoten, wodurch höhere Töne zum Vorschein kommen.

Um eine größere Mannigfaltigkeit der Töne durch Verkürzung und Verlängerung der schwingenden Luftsäule hervorzubringen, dienen

bei einigen Blase-Instrumenten die Seitenöffnungen, welche nach Erforderniß durch Finger oder Klappen geschlossen und geöffnet werden können, z. B. bei den Klarinetten und Flöten — bei anderen ausziehbare Theile, z. B. bei der Posaune — noch bei anderen verschiedene Mundstücke, z. B. bei dem Waldhorn, bei welchem außerdem zu diesem Zwecke die Mündung mittelst der Hand in verschiedenen Graden verengt und verkürzt wird. Bei den Blase-Instrumenten mit Seitenöffnungen reicht die Länge der schwingenden Luftsäule immer vom Mundloche bis zu der ersten nicht geschlossenen Oeffnung.

Außer der Länge der schwingenden Luftsäule und der Stärke des Anblasens hängt die Höhe des Tones auch noch ab von der Art des Anblasens, so wie von der Größe und Lage des Mundloches.

Die sich vom Mundloche an erweiternden offenen Pfeifen geben einen höheren, die sich verengenden dagegen einen tieferen Ton, als gleich lange Pfeifen von überall gleicher Weite, so wie eine zum Theil gedeckte Pfeife einen höheren Ton, als eine gleich lange ganz gedeckte, und einen tieferen, als eine gleich lange offene Pfeife giebt. Wird daher eine offene Pfeife auch nur mit der Hand ganz, dann zum Theil gedeckt und endlich offen gelassen und jedes Mal angeblasen, so hört man drei ihrer Höhe nach aufsteigende, so wie beim entgegengesetzten Verfahren natürlich herabsteigende Töne. — Eine offene Orgelpfeife wird gestimmt durch eine bewegliche Klappe am freien Ende; sie wird mehr geöffnet, wenn der Ton erhöht, und mehr geschlossen, wenn der Ton erniedrigt werden soll — eine gedeckte Pfeife wird dagegen gestimmt durch den beweglichen, sie schließenden Pfropfen; er wird herabgedrückt oder heraufgezogen, je nachdem der Ton erhöht oder erniedrigt werden soll.

In den Zungenpfeifen kann die Zunge verschieden befestigt sein. Die Zungenpfeifen der Orgeln (Schnarrwerk) bestehen aus zwei Röhren, von denen die eine mit einem Fuße versehen ist und zwischen denen sich der das eigentliche Zungenwerk enthaltende Theil, der Stopfen, befindet. Das Zungenwerk selbst besteht aus drei Theilen: der Rinne, einer prismatischen oder zylindrischen Röhre, die in der einen Längenrichtung offen ist — der Zunge, welche diese Oeffnung schließt, und dem Stimmdrahte, durch dessen Bewegung der vibrirende Theil der Zunge verlängert und verkürzt werden kann. Der durch den Fuß der Pfeife eintretende Luftstrom eines Blasebalges wirkt auf die Zunge, bringt sie aus ihrer, die Rinne schließenden, Lage und tritt durch die Rinne aus der Pfeife, während die Zunge in Folge ihrer Elastizität in die ursprüngliche Lage zurückkehrt. Diese Erfolge wiederholen sich bei fortdauerndem Luftstrome und die Zunge wird hierdurch in Schwingungen erhalten. Die Höhe des Tones wird hier vorzugsweise durch die Schwingungen der Zunge bestimmt.

Die blechernen Kindertrompeten. — Bei den Klarinetten, Fagotten, Hoboen verursachen die Blättchen der Mundstücke das Schnarren. — Bei der sogenannten Maultrommel wird die Luft in der Mundhöhle, die durch die Bewegung der Zunge, der Backen 2c. vergrößert und verkleinert werden kann, mittelst der stählernen Zunge in Schwingungen gesetzt, und wohl bald mit mehr, bald mit weniger Schwingungsknoten. — Harmonika. — Das Pfeifen mit dem Munde wird dadurch hervorgebracht, daß die aus- und einströmende Luft die Lippen in Schwingungen versetzt, welche sich der umgebenden Luft

mittheilen. Werden während des Pfeifens die Lippen berührt, so hört der Ton auf, weil dadurch die Schwingungen derselben verhindert werden.

Das Stimmorgan des Menschen besteht aus dem Kehlkopfe, dem oberen Theile der aus elastischen Knorpeln bestehenden Luftröhre, dem Schlunde und dem Munde; am Kehlkopfe befinden sich die Stimmbänder, zwei dünne Häutchen, welche die Luftröhre bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze, schließen. Besondere Muskeln können die Bänder verschieden stark spannen und dadurch die Stimmritze verschieden stark erweitern. Die Luft tritt aus der Lunge wie aus einem Blasebalge in die Luftröhre, wird mehr oder weniger gewaltsam durch die Stimmritze getrieben, wodurch die Bänder in Schwingungen gerathen, die wieder die Luft im Schlunde in Schwingungen versetzen, wodurch ein Ton erzeugt wird, der durch die Erweiterungen und Verengungen des Schlundes, durch die Bewegung der Zunge, durch das Oeffnen und Schließen des Mundes in verschiedenen Graden, durch die Nase ꝛc. zur Stimme sich gestaltet. — Frauen und Kinder haben einen kleineren Luftröhrenkopf und eine kürzere Stimmritze, daher eine höhere Stimme. — Die Stimme der berühmten Catalani umfaßte drei und eine halbe Oktave; sonst heißt eine Stimme von drei Oktaven schon eine umfangreiche. — In der Fingalshöhle auf der Insel Staffa an Schottlands Westküste hört man oft Töne, wahrscheinlich dadurch bewirkt, daß, indem das Meer steigt, Wasser eindringt und die Luft durch kleine Oeffnungen heraustreibt. — Vielleicht waren die Töne der Memnonsäule in Aegypten Folge der durch die aufgehende Sonne erwärmten und in Folge der Ausdehnung ausströmenden inneren Luft. — Bei derselben Länge schwingender Saiten und Luftsäulen entstehen in warmer Luft und im Wasserstoffgase höhere Töne, als in kalter Luft und dichteren Gasen.

143. Ein Schall besteht für uns nur insofern, als er in unser Ohr gelangt. Das geschieht, indem der schallende Körper einem andern, schwingungsfähigen Körper, der einerseits mit ihm und andererseits mit unseren Gehörwerkzeugen in unmittelbarer Berührung steht, seine Schwingungen mittheilt. Es muß also ein Träger oder Leiter des Schalles von seinem Entstehungsorte an bis zum Ohre da sein. Solche Schallleiter sind die Körper aller Aggregatsformen; der gewöhnlichste ist die atmosphärische Luft, bessere aber die meisten festen und flüssigen Körper; wenn sie auch, mit einander verglichen, wieder verschieden stark und schnell den Schall fortleiten.

Das Ticken einer auf das eine Ende eines langen Holzbalkens gelegten Taschenuhr hören wir sehr deutlich, indem wir das Ohr an das andere Ende legen, während wir in derselben Entfernung, wenn die Uhr frei gehalten und das Ohr nicht an den Balken gelegt wird, nichts hören. — Wir legen uns mit dem Ohr auf die Erde, um entfernte Kanonaden, entferntes Glockengeläute u. s. w. besser zu hören; so wie wilde Völker sich auf die Erde werfen, um die Fußtritte ihrer Feinde zu hören. — Ein silberner Löffel, an das freie Ende eines mittelst der Zähne festgehaltenen oder um den Kopf gebundenen Fadens festgemacht, giebt, wenn er, indem die Ohren fest zugestopft werden, an einen festen Körper bewegt wird, einen auffallend starken, glockenartigen Ton. — Wird das eine Ohr fest zugehalten und eine angeschlagene Stimmgabel an irgend eine Stelle des Kopfes, ja selbst an das offene Ohr gesetzt, so hört man doch immer den Ton durch das zugehaltene Ohr. — Daß die festen Körper den Schall auch schneller als die Luft fortleiten, beweisen unter anderen Biot's und Gay-Lussac's schöne Versuche mit den fast 3000′ langen gußeisernen Wasserleitungsröhren in Paris, die den Schall fast mit 11000′ Geschwindigkeit fortpflanzen, also etwa 10 Mal schneller als die Luft (§ 144). — Eine unter Wasser geläutete Glocke wird in der Luft gehört; Schwimmer und Taucher

hören unter Wasser, Fische haben Gehörwerkzeuge, auch lassen sie sich, wenn sie zahm sind, durch Glöckchen heranlocken. Nach den von Colladon und Sturm auf dem Genfer See angestellten Versuchen verbreitet das Wasser den Schall mit 4415' Geschwindigkeit, also etwa 4 Mal schneller, als die Luft. Auch im Wasserstoffgase ist nach Dulong die Schallgeschwindigkeit über 2 Mal größer, als in der Atmosphäre.

144. Die näheren Umstände der Fortpflanzung des Schalles in der Luft, als dem gewöhnlichsten und wohlthätigsten Fortpflanzungsmittel, da sie sowohl Stärke als Geschwindigkeit des Schalles auf eine unserm Ohre wohlthätige Art mäßigt, sind uns am wichtigsten.

1) Die Luft pflanzt den Schall fort, und zwar desto schwächer, je verdünnter sie ist, wie sich das schon durch die Luftpumpe zeigen läßt (§ 134, 14). Was die Art der Fortpflanzung anbetrifft, so betrachten wir sie als eine Wellenbewegung durch auf einander folgendes Zusammendrücken und Ausdehnen, oder Verdichten und Verdünnen der um den schallenden Körper sich befindenden Luft; nicht wesentlich verschieden von den Längenschwingungen der Luftsäule in Blase-Instrumenten; denn indem diese in der Atmosphäre nach allen Seiten hin stattfinden, da wir den Schall überall hören, entstehen eben diese kugelförmigen Luftwellen, die zu vergleichen sind mit den kreisförmigen Wasserwellen (§ 113), die durch einen ins Wasser geworfenen Stein entstehen, nur daß diese aus Erhabenheiten und Vertiefungen, wie Berge und Thäler, jene aber aus Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen. Indem der schallende Körper schwingt, wird die zunächst liegende Luft ringsherum verdichtet; diese verdichtete Luft strebt aber auch sich auszudehnen und bewirkt durch ihre Ausdehnung wieder eine Verdichtung der angrenzenden, außerhalb gelegenen Luft, wodurch eine zweite kugelförmige Luftwelle entsteht 2c., so daß also die Fortpflanzung des Schalles in einem Fortschreiten der Verdichtung und Verdünnung der Luft besteht. Dieser Annahme widerspricht nicht die Vorstellung, daß der Schall in unser Ohr in einer geraden Linie gelangt, welchen Weg wir einen Schallstrahl nennen; er ist eine zur Oberfläche der Schallwelle senkrechte Linie.

2) Der Schall braucht eine gewisse Zeit zur Fortpflanzung, und diese Fortpflanzung geschieht mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Man hat dieses Gesetz gefunden mittelst solcher Versuche, die einen bedeutenden Knall verursachen und zugleich eine starke Lichterscheinung darbieten; sie ergaben nämlich das Resultat, daß der Schall zur Zurücklegung eines doppelt, drei Mal so großen Weges auch eine doppelt, drei Mal so große Zeit braucht u. s. w.

Man sieht die Axt, den Hammer eines in etwas bedeutender Entfernung arbeitenden Holzhauers oder Schmiedes früher auf das Holz oder den Ambos fallen, als man den Schall hört. — Bei Abfeuerungen von Kanonen fällt das Entstehen des Schalles mit dem Erblicken des Lichtes zusammen, da wir die Verbreitung des Lichtes für alle irdischen Entfernungen als augenblicklich betrachten; dieser Augenblick ist der eine, so wie das Hören des Knalles der andere Grenzpunkt der Zeit, die der Schall zur Zurücklegung des bestimmten

Raumes braucht. — Sekunden- und Terzienuhren werden bei solchen Versuchen gebraucht.

Die Geschwindigkeit selbst, als der in einer Sekunde zurückgelegte Weg, ist nun nach der bekannten Formel für die gleichförmige Bewegung $C = \frac{S}{T}$ zu finden. Man kann sie im Durchschnitt auf 1050′ annehmen. Auch ist es von selbst einleuchtend, daß die gleichförmige Bewegung des Schalles, wenn die Augenblicke seines Entstehens und Hörens bekannt sind, benutzt werden könne, die Entfernung zweier Oerter, wenn auch nur näherungsweise, anzugeben nach der Formel $S = CT$ (§ 33).

Bestimmung der Entfernung zweier Oerter durch Signalfeuer. — Beiläufige Bestimmung der Entfernung eines Gewitters aus der Anzahl der Pulsschläge zwischen dem Blitze und dem Donner; man rechnet dabei auf einen Pulsschlag 1000 Fuß, auf 24 also 24000 Fuß oder Eine Meile.

3) Von wesentlichem Einflusse auf die Geschwindigkeit des Schalles sind die Richtung des Windes, die Feuchtigkeit und die Temperatur der Luft. Der Wind vermehrt oder vermindert die Geschwindigkeit des Schalles um seine eigene Geschwindigkeit, je nachdem er in der Richtung, in welcher man den Schall erhält, oder in der entgegengesetzten weht. Nach Goldingham's Versuchen vergrößert die Feuchtigkeit die Geschwindigkeit des Schalles. Die Wärme macht die Luft, indem sie dieselbe ausdehnt, zwar dünner, aber zugleich expansiver, also zur Fortpflanzung des Schalles geschickter. Nach Benzenberg's Versuchen beträgt die Geschwindigkeit des Schalles:

1003,8 bei — 10° R.
1027,0 — — 0° —
1050,7 — + 10° —
1074,0 — + 20° —
1096,9 — + 30° —

Jene in (2) angegebene Geschwindigkeit entspricht also der mittleren Temperatur von + 10° R. Die Geschwindigkeit des Schalles ist dagegen unabhängig von der Geschwindigkeit der Schwingungen eines schallenden Körpers, da der tiefe Ton eben so schnell als der hohe fortgepflanzt wird; was schon daraus hervorgeht, daß die taktmäßige Aufeinanderfolge der einzelnen niedrigen und hohen Töne eines Musikstückes genau dieselbe ist, gleichviel ob wir es aus der Nähe oder aus der Ferne hören; während doch nothwendig die Harmonie in der Aufeinanderfolge der Töne aufhören müßte, wenn z. B. tiefere Töne später oder früher zu unsern Ohren gelangten, als die höhern.

Um den Einfluß des Windes zu bestimmen, werden von beiden Stationen aus Geschütze abgefeuert und Signale gegeben. Ueber die Bestimmung der Wellenlänge der Töne bemerken wir Folgendes: Jede Schwingung eines tönenden Körpers erzeugt eine Luftwelle, welche sich in einer Sekunde um 1050′ fortbewegt, gleichviel ob der Ton hoch oder niedrig ist; nur sind bei jenem die Wellenlängen kürzer und schreiten schneller fort als bei diesem, und so viele Schwingungen der Körper in einer Sekunde macht, so viele Wellen folgen auf einander. Soll nun aber die zweite Welle an die Stelle der ersten treten, so muß diese während der Dauer der zweiten Schwingung um eine Wellenlänge

fortgeschritten sein; dasselbe gilt von der 3. und 2., von der 4. und 3. u. s. w.; jede Welle wird also in einer Sekunde um so viele Wellenlängen fortschreiten, als die Zahl der Schwingungen des tönenden Körpers in dieser Zeit beträgt. Die Länge der Welle wird daher gefunden, wenn der vom Schalle in einer Sekunde durchlaufene Weg durch die Zahl der Wellen in dieser Zeit dividirt wird; dieser Weg ist aber für alle Töne unverändert 1050', und die Zahl der Wellen gleich der Zahl der Schwingungen, welche aus § 140 bekannt sind. Es ist daher hiernach die Wellenlän e des wahrnehmbar tiefsten Tones $= \frac{1050'}{7}$ $= 150'$, des höchsten $= \frac{1050'}{24000} = \frac{1'}{23}$; des a der Stimmgabel $= \frac{1050'}{440} = 2\frac{1}{3}'$ etwa, des Kontra-C $= \frac{1050'}{16} = 66'$ etwa; des fünf Mal gestrichenen c $= \frac{1050'}{4096} = \frac{1'}{4}$ etwa u. s. w.

4) Die Stärke oder Intensität des Schalles und die davon abhängende Entfernung, bis zu welcher der Schall reicht, ist nicht genau bestimmbar, da es hierbei viele in einander greifende Bestimmungsgründe giebt, hauptsächlich die Größe der schwingenden Masse, die Größe und Geschwindigkeit der Schwingungen, die Dichtigkeit der Luft, die Stille in der Atmosphäre, welche alle im geraden Verhältnisse zur Stärke des Schalles stehen. Hinsichtlich der Abnahme der Stärke des Schalles mit der Entfernung gilt das Gesetz, daß sie abnimmt, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen.

Wenn der Schall sich nicht ausbreiten kann, pflanzt er sich fast ungeschwächt fort. Biot konnte in Röhren der Pariser Wasserleitung bei 3000' Entfernung leise ausgesprochene Worte deutlich verstehen. In kalten Zimmern klingt ein Instrument lauter, als in heißen. — Nach Parry versteht man in den Polargegenden bei kalter Luft eine starke menschliche Stimme auf 7000 Fuß, während sie sonst nur auf 700—800 Fuß Weite hörbar ist. — Bei Nacht ist ein Schall weiter hörbar, als am Tage, wegen der kalten und deshalb dichteren Luft und wegen der größeren Stille in der Atmosphäre; besonders stark tritt dieser Unterschied in der heißen Zone hervor. Die Feuchtigkeit vermindert die Expansion der Luft; daher bei feuchter Luft die menschliche Stimme, das Glockengeläute, der Kanonendonner u. s. w. weniger weit gehört werden, als sonst. Ein abgefeuertes Pistol knallt in einer Grube sehr stark, auf hohen Bergen dagegen nur schwach; so wie der Klang einer Glocke in der verdichteten Luft einer Taucherglocke unerträglich ist, und auf hohen Bergen mit einander sprechende Personen desto näher an einander stehen müssen, um sich zu verstehen, je höher jene sind. An langen Mauern und über dem Wasser wird der Schall stärker fortgepflanzt, als in der freien Ebene. Einen Kanonenschuß kann man 20—22 Meilen, einen Flintenschuß an 16000', schweres Geschütz und eine Eskadron Kavallerie 2400' weit hören. Den Kanonendonner von Schlachten hat man 30 bis — wohl bei günstigem Winde — 80 Meilen weit gehört.

5) Elastische Körper, welche mit schallenden Körpern verbunden sind, oder sie umgeben, verstärken den Schall, indem sie die Schwingungen annehmen und mittönen, so wie wenig elastische oder auch weiche ihn schwächen oder dämpfen, indem sie die Schwingungen stören.

Resonanzboden, auf dem nach Savart's Versuchen während der Schwingungen der über ihm sich befindenden Saiten Klangfiguren entstehen. Eine

Stimmgabel angeschlagen und an einen Resonanzboden mit dem Stiele gehalten, klingt laut, während man sie in der Luft schwach hört. — Dämpfer. — Die eingeflochtenen Tuchstreifen der Klaviersaiten. — Ein Instrument im leeren Zimmer mit leeren Mauern klingt stärker, als wenn die Wände mit doppelten Tapeten behangen sind. — Tiefer Schnee dämpft den Ton der Glocken.

6) Wird eine in Schwingung gebrachte Stimmgabel so senkrecht vor das Ohr gehalten, daß eine äußere Fläche eines der parallelepipedischen Zinken mit dem Ohre parallel steht, so wird der Ton stark gehört; bringt man sie aber aus dieser Lage durch eine geringe Drehung um ihre Achse, so wird der Ton schwächer und verschwindet, wenn die Oeffnung des Ohres sich in der Verlängerung der Diagonale der Zinke befindet. Dreht man daher die Stimmgabel um ihren Stiel ganz herum, so wiederholt sich das Verschwinden und Hörbarwerden des Tones vier Mal. Diese von den Gebrüdern Weber entdeckte Unterbrechung eines hörbaren Tones, Interferenz in der Fortpflanzung des Schalles, erklärt sich aus den wellenartigen Schwingungen der Luft. Daß mittönende Körper den Schall verstärken, mag wohl daher kommen, daß ihre Luftwellen sich mit denen des ursprünglich schallenden gleichzeitig an denselben Orten verdichten und verdünnen, und so wird eine Unterbrechung wohl da entstehen müssen, wo die Verdichtung der einen Luftwelle mit der Verdünnung der anderen zusammentrifft, und also eine Ausgleichung entsteht, während das Zusammentreffen der Verdichtungen zweier Luftwellen eine Verstärkung, so wie das Zusammentreffen der Verdünnungen zweier Luftwellen eine Schwächung zur Folge haben muß (§ 113, 5). Für die Stimmgabel sucht das W. Weber darzuthun.

Hörbarmachung dieses Zu- und Abnehmens des Tones für Viele mittelst eines zylindrischen Glases oder eines an einem Ende geschlossenen Resonanzkastens, in welchem die eingeschlossene Luftsäule durch die darüber gehaltene Stimmgabel zum Mittönen gebracht wird.

Die Interferenz der Schallwellen läßt sich durch ein einfaches Instrument — Hopkin's Apparat — sehr augenscheinlich zeigen, es besteht aus einer kurzen Röhre aus Holz oder Pappe, welche sich an einem Ende in zwei gabelförmige Aeste spaltet. Wird über das einzelne Ende eine Membrane gespannt, diese mit Sand bestreut und hierauf die offenen gabelförmigen Enden über einer durch Streichen mittelst eines Violinbogens in Schwingungen gesetzte Glas- oder Metallscheibe gehalten, so bleibt der Sand in Ruhe oder kommt in Bewegung, je nachdem diese Enden über nach entgegengesetzten Richtungen oder über nach derselben Richtung schwingenden Theilen der Scheibe gehalten werden. Dort fallen die Verdichtungen der Luftsäule, welche der eine Theil der Scheibe hervorbringt, mit den Verdünnungen, welche der andere Theil bewirkt, zusammen; hier dagegen fallen sowohl die durch die betreffenden Theile der Scheibe hervorgebrachten Verdichtungen als auch die Verdünnungen abwechselnd zusammen. Wird nur ein Ast des Instruments über irgend einer be-

9*

liebigen Stelle der Scheibe gehalten, so bemerkt man natürlich immer eine Bewegung des auf der Membrane liegenden Sandes.

7) Das sogenannte Schweben der Töne und die darauf beruhenden Kombinationstöne oder Tartinischen Töne hängen mit der Interferenz des Schalles zusammen. Man versteht unter dem Schweben der Töne ein abwechselndes Stärker- und Schwächerwerden, ein Anschwellen und Nachlassen derselben, was immer dann eintritt, wenn zwei Töne nicht genau durch gleichviele Schwingungen in derselben Zeit hervorgebracht werden, d. h. wenn sie nicht ganz isochronisch sind. Es müssen dann in gewissen Zeitintervallen Verdichtungen mit Verdichtungen, Verdünnungen mit Verdünnungen, aber auch Verdichtungen mit Verdünnungen zusammenfallen, was ein Anschwellen, Nachlassen, augenblickliches Aufhören in Wiederholungen zur Folge haben muß. Wird der eine Ton durch 100 Schwingungen, der andere durch 105 in einer Sekunde hervorgebracht, so werden die verstärkten Wirkungen, welchen Scheibler die Benennung Stöße gegeben hat, 5 Mal in jeder Sekunde eintreten, nämlich immer nach 20 Schwingungen des einen oder nach 21 des andern schwingenden Körpers. Eben so wird bei 100 und 101 Schwingungen in jeder Sekunde immer nur Ein Stoß erfolgen ꝛc. Werden zwei Stimmgabeln angeschlagen oder zwei Orgelpfeifen angeblasen, deren Töne sehr nahe einer Konsonanz sind, so hört man diese Stöße deutlich, oft auch schon, wenn eine Glocke zum Tönen gebracht wird, die nicht vollkommen regelmäßig und nicht überall von gleichförmiger Materie ist, so daß die aliquoten Theile, in denen die Glocke schwingt, nicht ganz gleiche Schwingungszahlen haben.

Ist der Unterschied der Anzahl der Schwingungen groß, folgen die Stöße also schnell aufeinander, so bringen diese Stöße einen besonderen Ton hervor, welcher Kombinationston genannt wird. Wenn von zwei Orgelpfeifen die eine die Quinte von der andern angiebt, so hört man zugleich einen dritten Ton, welcher von dem tiefern Tone die untere Oktave ist. Denn macht der tiefere Ton 200, der höhere, d. i. die Quinte, also 300 Schwingungen in einer Sekunde, so erfolgt nach je 2 Schwingungen des einen Tones, oder nach je 3 Schwingungen des andern ein Stoß, in der ganzen Sekunde also 100 Stöße, welche die untere Oktave des niederen Tones, der durch 200 Schwingungen hervorgebracht wurde, erzeugen.

145. 1) Einer der merkwürdigsten Umstände bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft ist die sogenannte Zurückwerfung desselben. Hält nämlich irgend eine Fläche die Wellenbewegung der Luft auf, so werden die sie treffenden Wellen von ihr zurückgeworfen, wodurch eine neue Wellenbewegung, die sich von ihr entfernt, entsteht. Insofern wir uns den Schall in geraden Linien in das Ohr kommend denken, sprechen wir von ursprünglichen und von reflektirten Schallstrahlen. Für diese Zurückwerfung gilt, wie beim Stoße elastischer Körper und den Wasserwellen (§ 103 und

§ 113), das Gesetz: der *Zurückwerfungswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.* Auf der Zurückwerfung der Schallstrahlen beruht der *Wiederhall* oder das *Echo*, welches, so häufig es auch vorkommt, für uns doch noch vieles Unerklärliche hat.

2) Der Schall kann so zurückgeworfen werden, daß der Ort, wo der Schall entstanden ist, mit dem, wo das Echo gehört wird, zusammen-, oder daß sie auseinanderfallen. Fallen Schall und Echo zusammen wie in Zimmern, so kann letzteres, als das schwächer wirkende, nicht für sich gehört werden, sondern es macht nur den ursprünglichen Schall stärker und länger dauernd, was den sogenannten *Nachhall* giebt. Soll das Ohr Schall und Echo vernehmen, so muß es sie also nicht gleichzeitig, sondern nach einander einzeln empfinden. Nun kann ein scharfes Ohr wohl kaum mehr als neun Laute in einer Sekunde deutlich von einander unterscheiden, d. h. die Laute müssen immer in Zeiträumen von $^1/_9$ zu $^1/_9$ Sekunden auf einander folgen, wenn sie deutlich gehört werden sollen. Schall und Echo sind als auf einander folgende Laute zu betrachten, und soll letzteres deutlich gehört werden, so muß es entweder gleich unmittelbar, nachdem der Schall seine Einwirkung auf das Ohr ausgeübt hat, das Ohr treffen, oder nach einiger Zwischenzeit. Der erste Fall wird eintreten, wenn die reflektirende Ebene die zur Erzeugung eines Echo's nothwendig kürzeste Entfernung hat, um deren Ausmittelung es hier zu thun ist. Diese möglichst kleinste Entfernung kann nur so groß sein, daß der Schall in der ihm zur Einwirkung zukommenden $^1/_9$ Sekunde den Weg zur reflektirenden Ebene und von ihr zurück macht, sein Totalweg in $^1/_9$ Sekunde also die doppelte Entfernung ist. Da aber der Schall bei seiner mittleren Geschwindigkeit von 1050′ in $^1/_9$ Sekunde $\frac{1050}{9}$ fast $=$ 116′ zurücklegt, diese 116′ aber die Summe des Hin- und Herweges sind, so muß, wenn ein wirkliches Echo entstehen soll, die reflektirende Ebene wenigstens 58′ entfernt sein.

Ist unser Standort nicht der Entstehungsort des Schalles, so werden wir ein Echo vernehmen, wenn der Weg des Schalles zur Reflexionsebene und von da bis in unser Ohr *wenigstens* 116′ länger ist, als der gerade Weg von seinem Entstehungsorte bis zu uns, denn da trifft das Echo $^1/_9$ Sekunde später unser Ohr, als der ursprüngliche Schall in gerader Linie.

3) Man unterscheidet *ein-* und *vielsilbige*, so wie *ein-* und *vielfache Echo's*. Jene Ausdrücke beziehen sich auf die Anzahl der wiederholten Silben, welche durch die Entfernung der reflektirenden Ebene bestimmt wird, diese hingegen auf die Anzahl der Wiederholungen einer und derselben Silbe, welche von der Anzahl der reflektirenden Ebenen abhängt. Spricht man bei der Entfernung einer reflektirenden Ebene von 58′ zwei Silben hintereinander aus, so fällt das Echo der ersten Silbe mit der ausgesprochenen zweiten zusammen, und nur

das der zweiten allein kann gehört werden. Bei einem dreisilbigen Worte fällt auf gleiche Art das Echo der beiden ersten Silben mit den ausgesprochenen beiden letzten zusammen, und nur das der dritten kann man hören u. s. w.; ein einsilbiges Echo giebt also immer nur die letzte Silbe eines ausgesprochenen mehrsilbigen Wortes zurück. Bei einem zweisilbigen Echo muß die Entfernung der reflektirenden Ebene wenigstens 2 . 58 = 116′ betragen; ein zweisilbiges Wort giebt ein solches Echo ganz wieder, von einem dreisilbigen aber nur die beiden letzten, weil das Echo der ersten Silbe mit der ausgesprochenen dritten zusammenfällt u. s. w. Stehen aber mehrere Ebenen in solcher Lage zu einander, daß die eine der anderen einen Theil des Schalles, den anderen aber dem Ohre zuwirft, so kann man einen und denselben Laut aus verschiedenen Gegenden so oft als Echo, wenn auch in abnehmender Stärke hören, als reflektirende Ebenen vorhanden sind, und das giebt ein- und mehrfache Echo's, von denen wieder jedes ein- und mehrsilbig sein kann.

Im Alterthume berühmte Echo's waren z. B.: 1) das beim capo di bove, dem Grabmale der Metella in Rom, welches acht Mal deutlich und noch einige Mal undeutlich den ersten Vers der Aeneide: Arma virumque cano, Trojae qui primus ab oris wiederholte, also ein fünfzehnsilbiges, wenigstens achtfaches Echo; 2) ein Echo auf der Villa Simonetta bei Mailand, welches einen Ruf 30 Mal wiederholte; 3) ein Echo in einem Gebäude zu Pavia, welches an 30 Mal auf eine Frage antwortete, mit dem letzten Worte der Frage, z. B.: Hic quis adest? adest. Von den jetzt berühmten Echo's heben wir heraus: 4) das bei Koblenz an den Ufern des Rheins, welches ein Wort 17 Mal wiederholt; 5) auf der Heuscheuer in der Grafschaft Glatz ein vielsilbiges Echo; 6) das siebensilbig dreifache Echo in dem sogenannten Steinwalde in Adersbach in Böhmen; 7) in Schottland unfern Glasgow ein überaus merkwürdiges Echo, da die erste Wiederholung eine Terz tiefer, die zweite und die dritte aber jedes Mal noch einen Ton tiefer ist. — Gespräche, Musik ꝛc. außerhalb des Hauses hört man bei offenen Fenstern besser, als bei geschlossenen, weil im letzteren Falle durch die Fensterscheiben ein Theil des Schalles zurückgeworfen wird, der andere sie nur erschüttert, sie also auch schwächer auf die Stubenluft wirken; daher bei Doppelfenstern und Doppelthüren noch weniger gehört wird. Eine solche theilweise Zurückwerfung und in Folge dessen eine Schwächung des Schalles findet überhaupt statt beim Uebergange desselben aus einem Medium in ein anderes.

4) Was die Beschaffenheit der reflektirenden Ebene betrifft, so kann sie von der mannigfaltigsten Art sein, z. B. Mauern, Felsen, Bäume eines Waldes, Wasser, selbst Luft. Der Form nach muß die konkave Fläche, oder eine solche, die entsteht, wenn mehrere Ebenen unter gewissen Winkeln an einander gereiht werden, die vortheilhafteste sein.

Das Rollen des Donners ist Folge der häufigen durch die Luft, in Gebirgen auch durch die Berge bewirkten Zurückwerfungen des beim Durchschlagen des Blitzes durch die Luft hervorgebrachten Schalles.

146. Auf der Zurückwerfung der Schallstrahlen beruhen endlich viele akustische Instrumente und sogenannte akustisch merkwürdige Gebäude. Das Kommunikationsrohr (Flüsterrohr), jede zylindrische Röhre, dient, einen Schall ungeschwächt weiter fortzupflanzen, als

es seiner Stärke nach ohne dieses Mittel geschehen würde. Das Ohr muß nahe am Rohre gehalten werden, warum? — Das **Sprachrohr**, am besten kegelförmig, ist bestimmt, die menschliche Stimme auf weite Entfernung, auf 1/2 bis 3/4 Meilen, verständlich hörbar zu machen. Man erreicht dieses dadurch, daß die Schallwellen, indem man zu dem engeren Ende hineinspricht, in Folge der Zurückwerfung von den Wänden in der Richtung der Achse am weiteren Ende heraustreten, und in dieser Richtung die Luft bedeutend stärker erschüttern, als es geschehen würde, wenn sie gleich vom Munde nach allen Richtungen sich erweiterten. Das Mitschallen des Rohres verstärkt den Ton auf Kosten der Deutlichkeit, deshalb ist es gut, das Sprachrohr aus möglichst unelastischer Materie zu verfertigen. — Das **Höhrrohr**, dessen Bestimmung ist, schwerhörenden Personen die menschliche Stimme verständlich zu machen, ist so beschaffen, daß es durch sein weites Ende die Schallwellen auffängt, sie durch Reflexion in einem Punkt vereinigt und sie sodann durch sein engeres Ende in das innere Ohr, mit dem es in Verbindung gesetzt wird, gelangen läßt.

Das Kommunikationsrohr, wozu man jetzt sehr bequem Gutta percha verwendet, wird auf Schiffen und in manchen zimmerreichen Gebäuden, das Sprachrohr auf Stadtthürmen, Schiffen, im Kriege 2c. angewendet.

Sondhaus hat durch eine Linse, die er aus zwei über festen linsenförmigen Flächen gebildeten Kollodiumhäuten zusammensetzte und mit verschiedenen Gasarten füllte, den Beweis geliefert, daß die Schallwellen auch einer **Brechung** fähig sind, wie das Licht (§ 162 u. s. w.). Das Ticken einer Uhr im Mittelpunkte des einen Kugelsegments wurde im Mittelpunkte des andern deutlich gehört; eben so wurde Sand, über an jener Stelle zweckmäßig angebrachtem Goldschlägerhäutchen gestreut, in hüpfende Bewegung gesetzt.

Das **Gehörorgan** ist sehr zusammengesetzt. Das **äußere Ohr** besteht aus der **Ohrmuschel** und dem **Gehörgang**, das **mittlere** aus dem **Trommelfell**, welches den Gehörgang schließt, und aus der nur mit Luft angefüllten **Paukenhöhle**, in welcher sich ein Hebelsystem von Gehörknöchelchen, an die sich besondere Muskeln ansetzen, befindet, nämlich der **Hammer**, der **Ambos** und der **Steigbügel**, von denen der Hammer an das Trommelfell angewachsen ist, der Steigbügel aber das **ovale Fenster** des darauffolgenden Labyrinthes schließt, während das **runde Fenster** durch ein Häutchen geschlossen wird. Das **innere Ohr**, Labyrinth genannt, besteht aus dem **Vorsaal**, der **Schnecke** und den **drei Bogengängen** und wird von einer Flüssigkeit (Perilympha) angefüllt. In der Flüssigkeit des Vorsaales schwimmen zwei häutige, ebenfalls mit Flüssigkeit (Endolympha) gefüllte Bläschen, in denen sich der Gehörnerv verbreitet. Die Paukenhöhle steht aber auch mit der Mundhöhle durch die **Eustachische Röhre** in Verbindung. — Das Ohr des Dionysius in Syrakus. — Sprachgewölbe; in der Sternwarte zu Paris befindet sich ein elliptisch gewölbtes Zimmer. — Kirchen und andere Gebäude mit akustischen Merkwürdigkeiten. — Das unsichtbare Mädchen.

Siebenter Abschnitt.

Vom Lichte.

147. Licht ist dasjenige, was uns die Gegenstände sichtbar macht; es ist mithin die Bedingung des Sehens oder des Wahrnehmens der Gegenstände mittelst des Auges.

Wenn wir auch nicht wissen, was das Licht sei, so kennen wir doch größtentheils die Gesetze, nach denen es wirkt. Die Lehre vom Lichte heißt Optik.

Newton's Emanations- oder Emissions-Thorie und Euler's Vibrations- oder Undulations-Theorie (Kartesius, Huygens, Hooke, Euler, Young, Frauenhofer, Fresnel, Schwerd); nach jener ist das Licht eine außerordentlich feine, schwerlose oder imponderable Materie, welche von den leuchtenden Körpern sich nach allen Richtungen mit überaus großer Geschwindigkeit verbreitet; nach dieser erstreckt sich durch den Raum und durch alle Körper in ihm der Aether, welcher wegen seiner außerordentlichen Feinheit schwerlos ist, aber wegen seiner Elastizität Wellenbewegungen annehmen kann, — dort soll die Empfindung des Sehens durch die Einwirkung der Lichtmaterie auf das Auge, wie der Geruch durch Einwirkung der von den riechenden Körpern sich ablösenden und die Geruchsnerven berührenden Theilchen entstehen; hier dagegen durch die Einwirkung der Aetherwellen auf die Netzhaut des Auges wie die Empfindung des Hörens durch die der Luft- oder Schallwellen auf das Ohr, — dort ist also Licht wirkliche Materie, hier dagegen nur die Folge der Vibration einer Materie, der Aethermaterie. Der Vibrationstheorie giebt man jetzt den Vorzug.

Unter der Lehre von den imponderablen Stoffen versteht man die Lehre vom Lichte, von der Wärme, von der Elektrizität und vom Magnetismus, und spricht daher in dieser Beziehung von einem Lichtstoffe, Wärmestoffe, elektrischen und magnetischen Stoffe. — Hypothetische Stoffe.

148. Die Körper werden, in Beziehung auf das Licht, eingetheilt in selbst leuchtende und dunkle, je nachdem sie Licht verbreiten, wie die Sonne, die Fixsterne, brennende und phosphoreszirende Körper, oder das Licht nicht verbreiten, wie das Holz, die Steine u. s. w. Die leuchtenden Körper sind durch sich selbst sichtbar; die dunklen nur durch die leuchtenden, welche sie beleuchten. Die Körper heißen durchsichtig, wenn sie das Licht durchlassen, wie das Glas, das Wasser, die Luft; unburchsichtig, wenn sie es abhalten, wie die Kohle, Metalle u. s. w., durchscheinend endlich, wenn sie das Licht nur zum Theil durchlassen, wie mattgeschliffenes Glas oder Papier. Durch die ersten kann man andere Körper deutlich sehen, durch die zweiten gar nicht und durch die letzten nur undeutlich.

149. Die ganze Lehre von dem Lichte knüpft sich an folgende Sätze:

1) Das Licht verbreitet sich in einem und demselben durchsichtigen Körper oder Mittel in geraden Linien.

2) Trifft das Licht auf einen undurchsichtigen Körper, so wird es zurückgeworfen oder erleidet eine Zurückwerfung, Reflexion, Zurückstrahlung.

3) Geht das Licht aus einem durchsichtigen Körper in einen anderen von verschiedener materieller Beschaffenheit in einer schiefen Richtung über, so wird es von der geraden Linie, in welcher es sich bewegte, abgelenkt. Diese Ablenkung heißt Brechung, Refraktion. Außer dieser Ablenkung des Lichtes von der geraden Linie, mittelst der Brechung, giebt es noch eine andere mittelst der Beugung oder Inflexion des Lichtes, welche nur stattfindet, wenn Lichtstrahlen an den scharfen Kanten fester Körper vorübergehen. — Auch von durchsichtigen Körpern wird Licht zurückgeworfen, aber nur ein Theil, während der andere gebrochen oder ungebrochen hindurchgeht.

Hiernach hat die Optik drei Haupttheile: die eigentliche Optik oder Optik im engeren Sinne, die Lehre vom Lichte, welches weder eine Zurückwerfung noch eine Brechung erleidet, Katoptrik, die Lehre vom zurückgeworfenen, und Dioptrik, die Lehre vom gebrochenen Lichte. Daran knüpft sich hier als vierter Theil die Betrachtung der gewöhnlichsten optischen Instrumente.

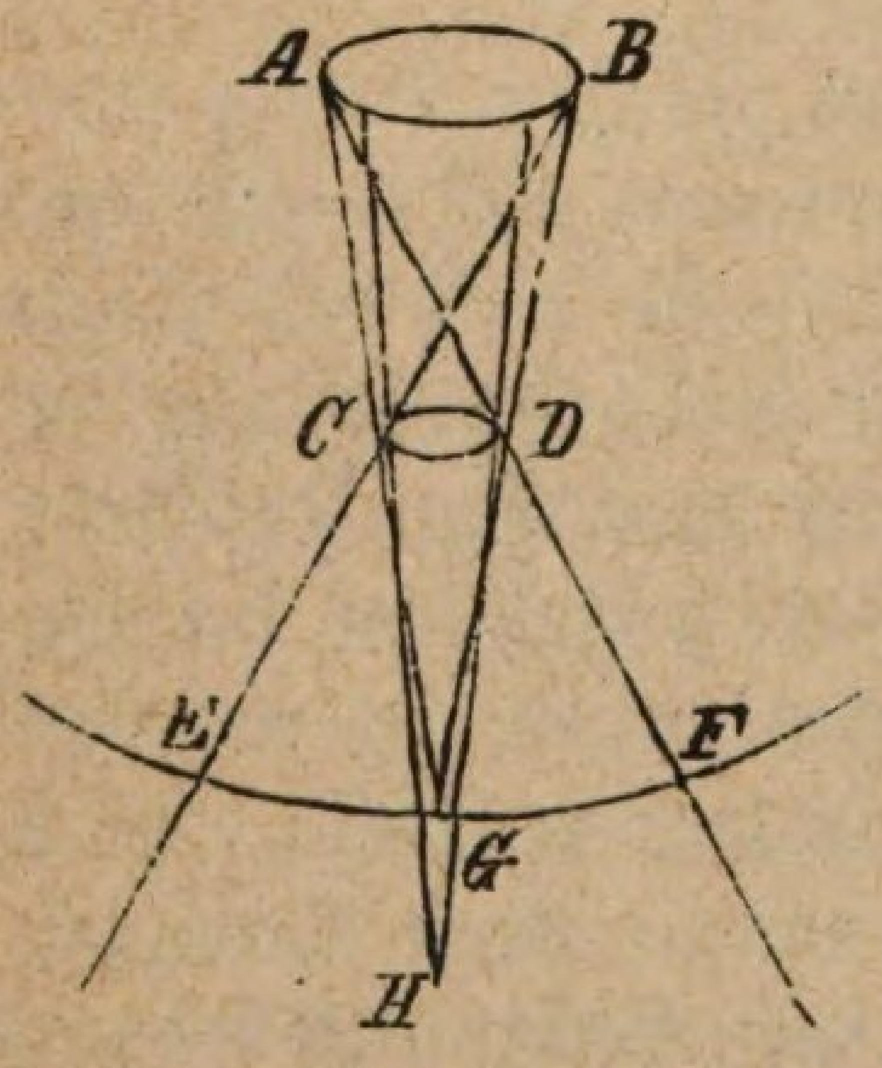
I. Die Optik im engeren Sinne, oder die Lehre von der geradlinigen Verbreitung des Lichtes.

150. Die Vorstellung, daß sich das Licht in geraden Linien verbreitet, beruht auf der Erfahrung, daß ein brennendes Licht nicht gesehen wird, wenn in die gerade Linie zwischen dasselbe und das Auge ein undurchsichtiger Körper gebracht wird. Wir sehen daher nur in geraden Linien, d. h. der Eindruck des Lichtes auf das Auge geschieht in geraden Linien, welche in dieser Hinsicht Lichtstrahlen heißen. Da ein leuchtender Punkt von allen Seiten gesehen wird, so nehmen wir ferner an, daß sich das Licht von einem leuchtenden Punkte nach allen Richtungen in auseinanderfahrenden oder divergirenden Strahlen ausbreite. Man kann daher in Beziehung auf einen Lichtpunkt immer von einem Strahlenkegel und einer Strahlenpyramide sprechen, wenn man das Licht durch eine Fläche auffängt.

Bei allen Wahrnehmungen durchs Auge gehen wir, wenn auch unbewußt, von der Annahme aus: das Licht bewege sich in gerader Linie; wir versetzen den Gegenstand an den Punkt hin, auf welchen der von ihm zum Auge kommende Lichtstrahl weist. Zwei Stangen, von welchen die eine unserm Auge die andere verdeckt, befinden sich — wie wir annehmen — in einer geraden Linie mit dem Auge.

151. Fällt auf einen undurchsichtigen Körper Licht, so muß es hinter ihm, wo das Licht wegen seiner geradlinigen Verbreitung nicht hingelangen kann, dunkel sein; man sagt, es entstehe ein **Schatten**, welches Wort also Abwesenheit des Lichtes bezeichnet. Bei einem einzigen leuchtenden Punkte, wie es in der Wirklichkeit keinen giebt, müßte der Schatten ein völlig lichtloser, mit der Entfernung sich erweiternder Raum sein, z. B. bei einer Kugel ein sich mit der Entfernung erweiternder abgekürzter Schattenkegel, bei einer dreiseitigen undurchsichtigen Scheibe, wenn das Licht auf eine der Dreieckflächen fällt, eine dreiseitige abgekürzte Schattenpyramide u. s. w., wenn es nicht auch eine Seitenbeleuchtung von andern Lichtquellen gäbe. Bei leuchtenden **Körpern** dagegen wird die Gestalt und Größe des Schattens bedingt durch die Gestalt und Größe sowohl des leuchtenden als auch des beleuchteten Körpers und durch ihre Entfernung von einander. Denken wir uns z. B. Kugeln, so giebt es einen mit der Entfernung sich erweiternden abgekürzten Schattenkegel, oder einen unbegrenzten Schattenzylinder, oder endlich einen Schattenkegel: je nachdem die leuchtende Kugel kleiner oder eben so groß, oder endlich größer als die beleuchtete ist. Wenn der leuchtende Körper ausgedehnt ist, giebt es einen **Kern- und Halbschatten**, d. h. einen vollkommenen und einen halbdunkeln Schatten, weil es hinter dem beleuchteten Körper einen Raum giebt, wohin von gar keinem Theile des leuchtenden Körpers Lichtstrahlen gelangen, aber auch einen Raum, der jenen umschließt, wohin nur ein Theil der Lichtstrahlen gelangt, und da dieser Theil vom Kernschatten nach dem vollkommenen Lichtraume hin immer größer wird, so muß ein allmäliger Uebergang vom vollen Schatten zum vollen Lichte stattfinden.

Figur 55.



Hierzu Figur 55, zu deren Verständniß folgende Andeutungen: Ist AB die Sonne, CD der Mond, so ist CDG der Kernschatten, GCE und GDF der Halbschatten, welcher immer lichter wird nach CE und DF hin, außerhalb welcher vollkommener Lichtraum ist. Befindet sich die Erde auf ihrer Bahn in G, oder innerhalb CDG, so giebt es auf ihr eine totale Sonnenfinsterniß, welche, wenn der Mittelpunkt der Erde in der Achse des Schattenkegels liegt, zugleich zentral ist, zwischen G und F, so wie zwischen G und E eine **partiale** und zwar eine desto kleinere, je näher die Erde an CE und DF ist; in der verlängerten Achse des Schattenkegels, z. B. in H eine **ringförmige**. Die totalen und ringförmigen fangen an und endigen mit partialen.

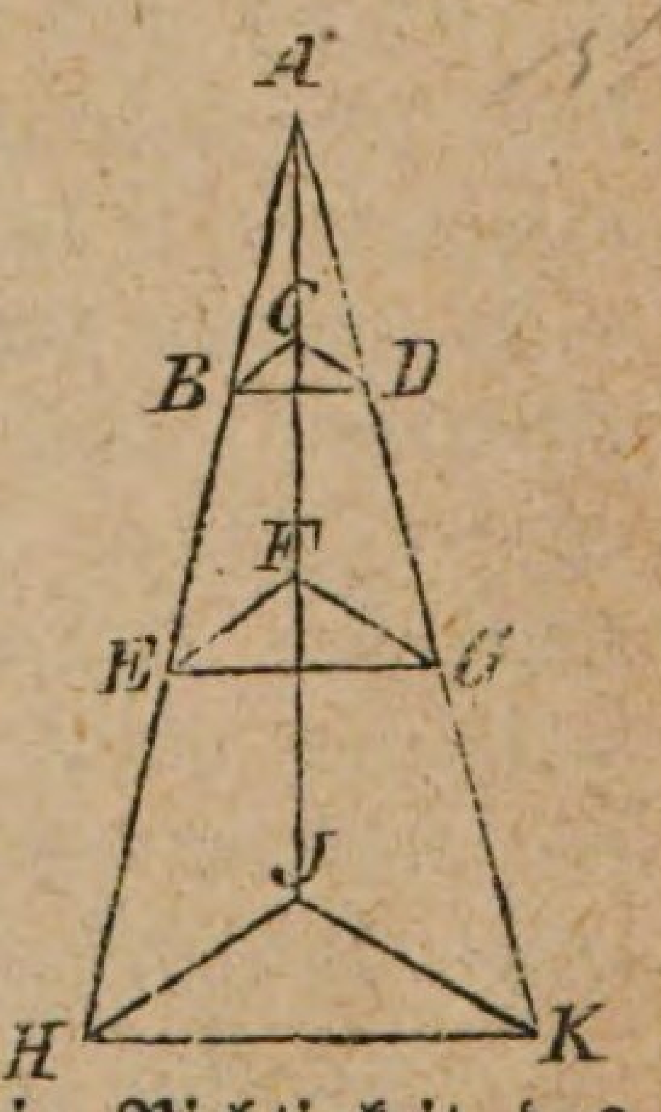
Unter **Schlagschatten** versteht man den auf eine Fläche fallenden Schatten, z. B. auf die Wand, auf die Decke oder den Fußboden der Stube. Eine Bewegung des Schattens tritt ein, wenn sich entweder der leuchtende oder der dunkle Körper oder auch beide zugleich bewegen.

Auch bei einer Mondfinsterniß stehen Sonne, Erde und Mond in einer geraden Linie, aber nicht wie bei einer Sonnenfinsterniß der Mond zwischen

Sonne und Erde, sondern die Erde zwischen Sonne und Mond. Dort bedeckt der Mond die ganze Sonnenscheibe oder auch nur einen Theil derselben, indem er vor die Sonne tritt; hier aber wirft die Erde einen Schlagschatten auf den Mond. Die Mondfinsterniß beginnt am östlichen Rande des Mondes, da der am Himmelsgewölbe von Westen über Süden nach Osten fortrückende Mond mit seinem östlichen Rande in den Schattenkegel der Erde tritt; die Sonnenfinsterniß beginnt dagegen am westlichen Rande der Sonne, da der am Himmelsgewölbe von Westen nach Osten fortrückende Mond, vor die Sonne tretend, mit seinem östlichen Rande zuerst den westlichen Rand derselben bedeckt. Math. Geogr. S. 86.

152. Jeder weiß, daß eine Fläche desto stärker erleuchtet ist, je näher sie dem leuchtenden Körper gehalten wird; daß also die Intensität des Lichtes oder die Erleuchtung an Stärke mit der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt, wofür wir im Allgemeinen schon den optischen Grund angeben können, daß die von einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen auseinander gehen, mithin desto weniger derselben eine Fläche treffen können, je größer ihre Entfernung ist. Diese Abnahme ist aber nicht von der Art, daß die Erleuchtung in der doppelten, dreifachen 2c. Entfernung auch zwei, drei Mal schwächer ist, sondern sie ist in der doppelten Entfernung vier Mal, in der dreifachen neun Mal schwächer als in der einfachen, d. h. die **Stärke oder Intensität der Erleuchtung nimmt ab, so wie die Quadrate der Entfernung zunehmen:** ein Gesetz, dessen Richtigkeit Theorie und Erfahrung bestätigen; wenn auch in der Wirklichkeit die Stärke der Erleuchtung durch die materielle Beschaffenheit sowohl des leuchtenden als des beleuchteten Körpers, durch die Größe der leuchtenden Oberfläche, wie auch durch den Einfallswinkel des Lichtes manche Aenderung erleidet. Unter einem je spitzeren Winkel nämlich Lichtstrahlen auf eine Ebene fallen, desto weniger derselben treffen sie, und desto schwächer wird sie daher erleuchtet.

Figur 56.



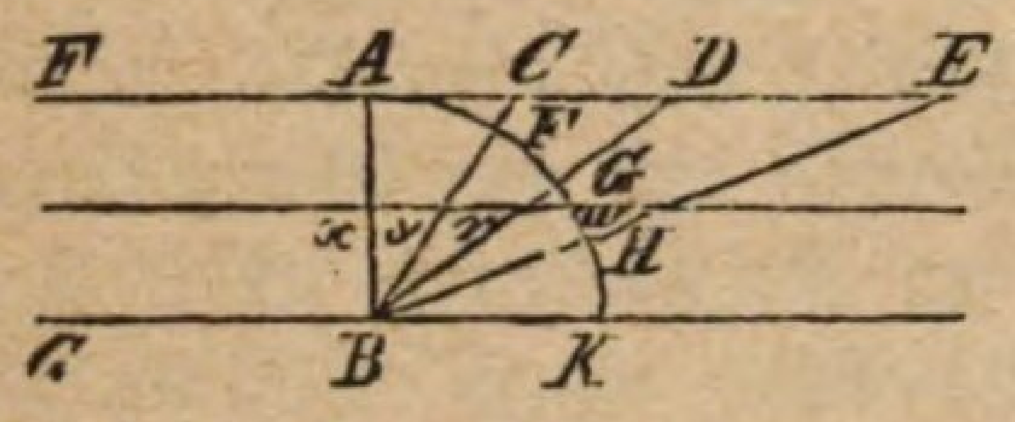
Ist in Figur 56 A ein leuchtender Punkt, AG = 2 AD und AK = 3 AD, so müßte die Fläche BCD, welche in der Entfernung AD das Licht des Strahlenkegels ABCD auffängt, in der doppelt so großen Entfernung AG zur Fläche EFG, in der dreifachen Entfernung AK zur Fläche HIK anwachsen, um ungeändert dieselbe Menge von Licht zu erhalten. Da die mit der Entfernung größer werdende Fläche immer nur von derselben Menge von Lichtstrahlen getroffen wird, so muß die Erleuchtung mit der Entfernung abnehmen. Nach stereometrischen Gründen steht aber, die Flächen parallel angenommen, $HIK : EFG : BCD = AK^2 : AG^2 : AD^2 : = (3AD)^2 : (2\,AD)^2 : (AD)^2 = 9 : 4 : 1$, d. h. die Flächen werden im quadratischen Verhältnisse der Entfernungen größer, und da dieselbe Menge Licht eine 4, 9 2c. Mal größere Fläche auch nothwendig 4, 9 2c. Mal schwächer erleuchten muß, so folgt daraus ohne Weiteres die Richtigkeit des Gesetzes — oder man sagt: denkt man sich um einen leuchtenden Punkt als Mittelpunkt konzentrische Kugeln, so werden deren Oberflächen ($4r^2\pi$), welche immer von derselben Menge Licht getroffen werden, im quadratischen Verhältnisse ihrer Radien, d. i. ihrer Entfernungen von der Lichtquelle, größer, und deshalb muß ihre Beleuchtung abnehmen, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen.

Da die Entfernungen der Planeten von der Sonne bekannt sind, so ist die Stärke ihrer Beleuchtung, die Erdbeleuchtung zur Einheit genommen, hiernach leicht zu finden. Für den Merkur steht z. B.:

$$1 : x = 4^2 : 10^2$$
$$1 : x = 16 : 100$$
$$x = 6{,}25 \quad (\S\ 79),$$

so daß also die Helligkeit auf dem Merkur über 6 Mal, auf der Venus über 2 Mal größer als bei uns ist, während sie bei den andern Planeten schwächer ist, z. B. beim Uranus über 380 und beim Neptun über 4500 Mal schwächer.

Figur 57.



Stellen in Figur 57 AB eine auf FA senkrechte, BC, BD, BE nach der Reihe immer schiefer stehende, gleich breite, aber zu derselben Höhe heraufreichende, mithin immer größer werdende Ebenen vor, so erhalten sie doch alle gleich viele Lichtstrahlen, wenn wir uns sie zwischen FA und GB, diesen parallel, auffallend denken; dabei ist $x > y$, $y > v$, $v > w$. Sind nun die Flächen BC, BD, BE in derselben Ordnung 2, 3, 4 Mal größer als AB, so ist auch ihre Beleuchtung 2, 3, 4 Mal schwächer, als die von AB; und denken wir uns BA als Radius einer Kugel um B, so sind zwar BA, BF, BG, BH einander gleich, aber sie werden nie gleich stark erleuchtet; BA am stärksten und BH am schwächsten, weil jene das ganze Licht, diese den kleinsten Theil desselben auffängt. Die Erleuchtung ist dem sinus der Winkel y, v, w proportional. Bouguer und Lambert haben sich in der Photometrie die meisten Verdienste erworben. Photometer, von denen das von Rumford auf der Erzeugung gleich dunkler Schlagschatten und das von Ritchie auf der Erzeugung gleicher Helligkeit durch verschiedene Lichtquellen beruht. Nach Wollaston ist das Sonnenlicht 800000 Mal stärker als das einer Kerze in der Entfernung von Einem Fuße.

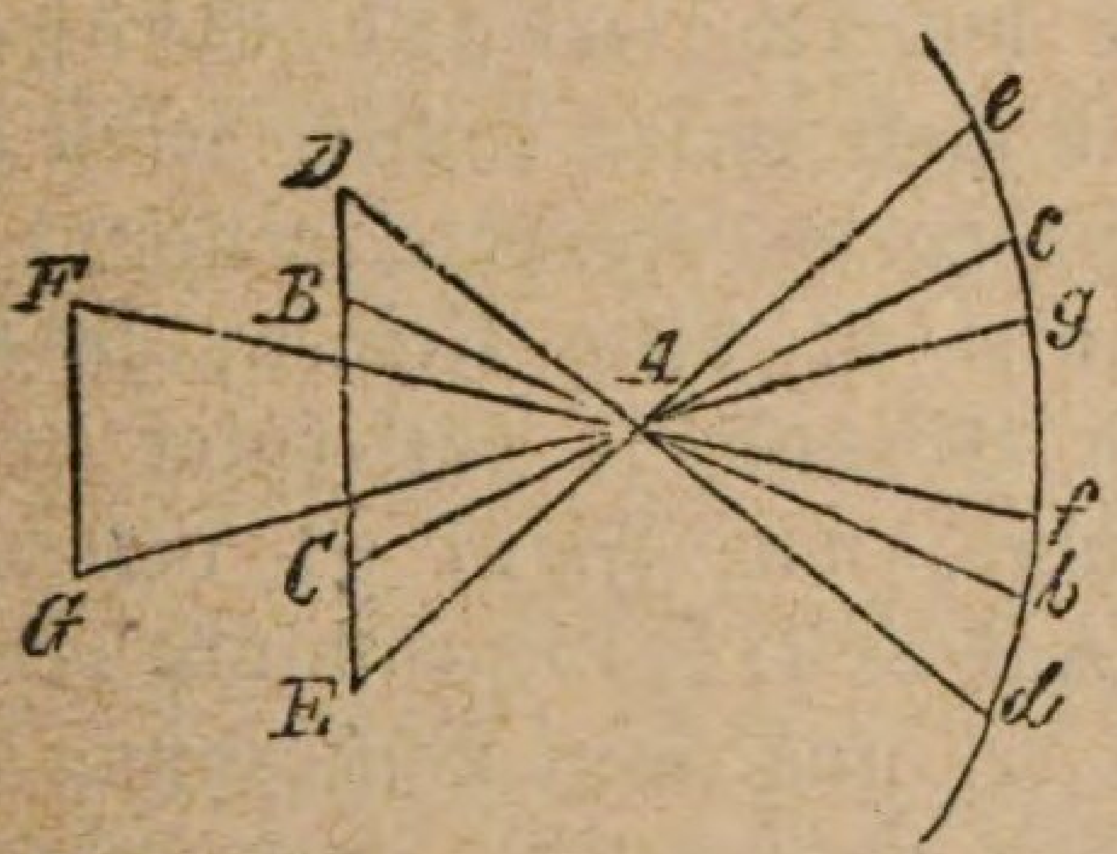
Da ein Licht in der 2-, 3- ꝛc. fachen Entfernung eine 4, 9 ꝛc. Mal schwächere Beleuchtung giebt, so kann die Helligkeit, die Ein Licht in der Entfernung von 1' hervorbringt, in der Entfernung von 2' erst durch 4, in der Entfernung von 3' erst durch 9 gleich stark leuchtende Lichte hervorgebracht werden.

135. 1) Es sind bei jedem Körper in Bezug auf das Licht vorzüglich zu betrachten: der Ort, die Gestalt, die Größe, die Entfernung und die Bewegung desselben, und zwar muß man dabei den scheinbaren Ort vom wahren, die scheinbare Gestalt von der wahren u. s. w. unterscheiden. Jeder weiß aus Erfahrung, daß wir nicht immer einen Körper an den Ort versetzen, welchen er wirklich einnimmt, daß eine entfernte Kugel uns als Scheibe, ein entfernter eckiger Thurm rund erscheint, daß wir von zwei gleich großen Körpern den entfernteren für kleiner als den näheren halten, und daß wir uns auch in der Beurtheilung der Entfernung und Bewegung der Körper vielfältig irren. In Bezug auf den Ort und die Größe eines Körpers heben wir Folgendes heraus.

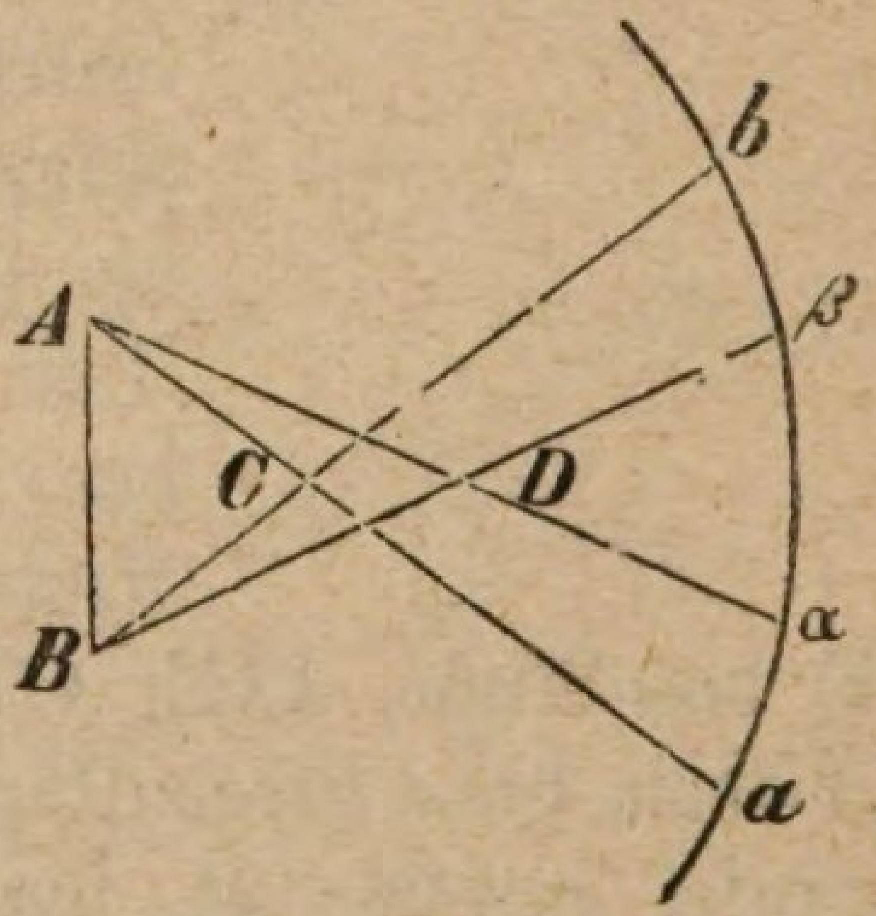
2) Ein entfernter Gegenstand, etwa ein Baum, scheint uns an den Grenzen des Horizontes zu stehen; der Punkt, wohin er versetzt wird, heißt sein optischer Ort, zum Unterschiede von seinem wahren Orte. Ein und derselbe Gegenstand aus zwei verschiedenen Standpunkten, die aber mit ihm nicht in derselben geraden Linie liegen dürfen, gesehen, erscheint an zwei verschiedenen Stellen des

Horizontes, d. h. er hat zwei optische Oerter. **Parallaxe** bezeichnet nun den Bogen des Horizontes zwischen den beiden optischen Oertern, oder den Winkel, welchen die Verbindungslinien derselben mit den Standpunkten am wahren Orte des Gegenstandes, mithin auch den Winkel, welchen die Verbindungslinien der beiden Standpunkte mit dem wahren Orte des Gegenstandes bilden. Die Parallaxe nimmt zu, wenn die Entfernung der Standpunkte von einander zunimmt; aber auch ab, wenn die Entfernung der Standpunkte vom Gegenstande zunimmt, wie das die leicht zu verstehende Figur 58, worin A den Gegenstand, B und C, D und E, endlich F und G je zwei zusammengehörige Standpunkte bedeuten und BC = FG gedacht wird, deutlich zeigt; die Figur 59 macht dagegen deutlich, daß von zwei

Figur 58.



gur 59.



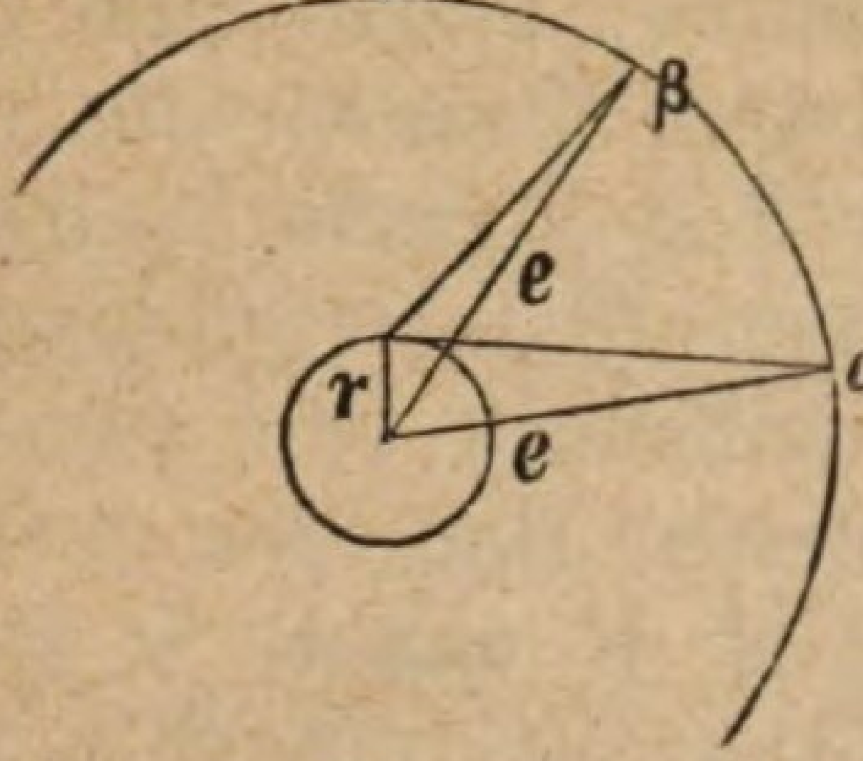
ungleich weit entfernten Gegenständen C und D bei gleicher Entfernung der Beobachtungsorte A und B der entferntere D die kleinere Parallaxe $\alpha\beta$ hat.

Irdische und astronomische Parallaxe: bei welcher letzteren die zwei Standpunkte entweder der Beobachtungspunkt auf der Oberfläche der Erde und der Mittelpunkt der Erde, welcher hier gleichbedeutend ist mit demjenigen Orte der Erdoberfläche, welcher den Stern im Zenithe hat, oder auch diametral entgegengesetzte Punkte der Erdbahn sind. Diese heißt **jährliche**, jene **tägliche** Parallaxe, welche wieder Horizontal- und Höhenparallaxe sein kann. Die tägliche Parallaxe nimmt an Größe ab vom Horizonte nach dem Zenithe, wo sie gleich Null ist, und erniedrigt die Höhe der Gestirne in Bezug auf die Orte, an welchen sie, vom Mittelpunkte der Erde betrachtet, erscheinen würden. Die Fixsterne zeigen gar keine tägliche Parallaxe; die der Sonne und des Mondes sind nicht immer unverändert dieselben, da die Erde ihnen bald näher, bald entfernter ist; im Mittel ist jene $8'',_{577}$, diese 57′ 40″; die des Uranus aber kaum ½ Sekunde, welcher jedoch eine jährliche Parallaxe von noch 3 Graden hat. Erst in der neuesten Zeit ist es **Bessel**, **Henderson**, **Struve**, **Peters** und anderen Astronomen gelungen, von etwa 30 Fixsternen die jährlichen Parallaxen zu bestimmen, von denen fast alle unter einer halben Sekunde betragen, was auf Entfernungen von 4 bis 32 Billionen Meilen leitet. Die größten Parallaxen haben α Centauri 0,91″ — 61 Cygni 0,31 — Sirius 0,23 — α Lyrae 0,21 und Arcturus 0,13″, woraus in derselben Ordnung die Entfernungen auf 220000 — 550000 — 890000 — 970000 — 1600000 **Erdweiten** berechnet worden sind. Aus der Horizontalparallaxe und dem Erdhalbmesser (r) findet man die Entfernung (e) eines Himmelskörpers, da

$$\frac{r}{e} = \sin \text{horiz. p}, \text{ also } e = \frac{r}{\sin \text{horiz. p.}}$$

Daß die Höhenparallaxe (β) eines Sternes kleiner sei, als seine Horizontalparallaxe (α) und mit der Höhe abnehme, verdeutlicht Figur 60. Es steht, wenn st den stumpfen Winkel bezeichnet:

Figur 60.

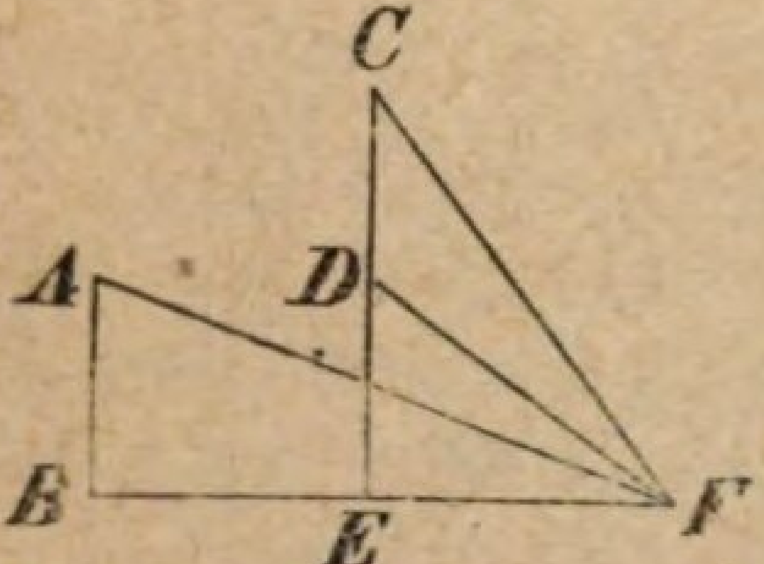


$$\sin\alpha : \sin 90^0 = r : e$$
$$\sin\beta : \sin st = r : e$$
$$\sin\alpha : \sin\beta = \sin 90^0 : \sin st,$$

aber sin st $<$ sin 90^0, also auch sin $\beta <$ sin α, mithin auch $\beta < \alpha$, und da st immer $>$ wird, je höher das Gestirn steht, also sin st desto $<$ sin 90^0, so wird auch β desto $< \alpha$, je höher sich das Gestirn über dem Horizonte erhebt, und $= 0$, wenn st $= 180^0$ wird, d. h. wenn das Gestirn im Zenithe steht. Math. Geogr. S. 90.

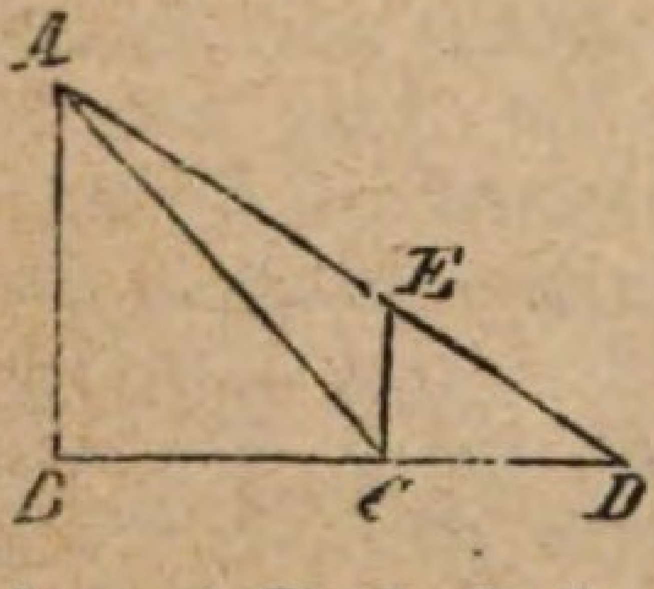
3) Der Winkel, welchen die Lichtstrahlen von den äußersten Punkten eines Körpers im Auge bilden, wird Sehwinkel oder Gesichtswinkel genannt. Nach demselben beurtheilen wir die scheinbare Größe der Körper, weshalb auch dieser Winkel selbst häufig die scheinbare Größe des Körpers genannt wird. Der Gesichtswinkel ist desto kleiner, je kleiner der Gegenstand ist und je entfernter er vom Auge sich befindet, was Figur 61 verdeutlicht, wo F das Auge, DE, CE, so wie AB $=$ DE Gegenstände bedeuten.

Figur 61.



Verschieden hohe Gegenstände können bei ungleicher Entfernung gleiche Sehwinkel haben, ja sogar in gleicher Entfernung, wenn ihre Neigungswinkel zur Erde ungleich sind; dort muß der größere Gegenstand eine verhältnißmäßig größere Entfernung, hier eine größere Neigung, d. h. einen kleineren Neigungswinkel haben; hierzu Figur 62, wo wir uns in D das Auge, unter CE und BA senkrecht stehende Gegenstände, unter CA aber einen schief stehenden Gegenstand denken. Als Grenze der Wahrnehmbarkeit eines weißen Gegenstandes auf schwarzem Grunde nimmt man den Sehwinkel von 40 Sekunden an, so daß eine 5 Fuß hohe weiße Stange noch in einer Entfernung von 25000′, also in einer Entfernung, welche 5000 Mal ihre Höhe übertrifft, gesehen werden kann.

Figur 62.



Unser Urtheil über die scheinbare Größe der Gegenstände hängt aber nicht blos vom Sehwinkel ab, sondern auch 1) von der Stärke des Lichtes, weshalb selbstleuchtende Körper, wie die Fixsterne, mit sehr intensivem Lichte unter äußerst kleinen Winkeln, die noch nicht Eine Sekunde erreichen, sichtbar sind; 2) davon, wie groß wir uns die Entfernung zwischen uns und ihnen denken. Die horizontalen Entfernungen halten wir für größer, als gleich große senkrechte, wegen der vielen Gegenstände zwischen uns und den betrachteten Körpern, und diese falsche Vorstellung veranlaßt das Urtheil, als sei ein Körper am Horizonte größer, als wenn er sich in derselben Entfernung hoch über dem Horizonte befindet, wie uns z. B. die Sonne beim Auf- und Untergange größer zu sein scheint,

als in bedeutenden Höhen; 3) von der Kenntniß der wahren Größe 2c.

Optische Täuschungen an langen Baumalleen, langen Straßen, an den parallelen Wänden langer Gänge, an der Decke derselben, an langen Häusern, an den parallel neben einander fortlaufenden Schienen der Eisenbahnen u. s. w. Sonne und Mond scheinen gleich groß zu sein, wiewohl sie sehr verschiedener Größe sind. — Die Sonne erscheint uns bei ihrer mittleren Entfernung von der Erde unter einem Winkel von 32′ 3,3″; die Erde von der Sonne aus gesehen, würde dagegen unter einem Winkel von nur 17,2″ erscheinen. — Perspektive. — Die Köpfe von Personen, mögen die einen 5′, die anderen 20′ von uns entfernt sein, erscheinen uns gleich groß.

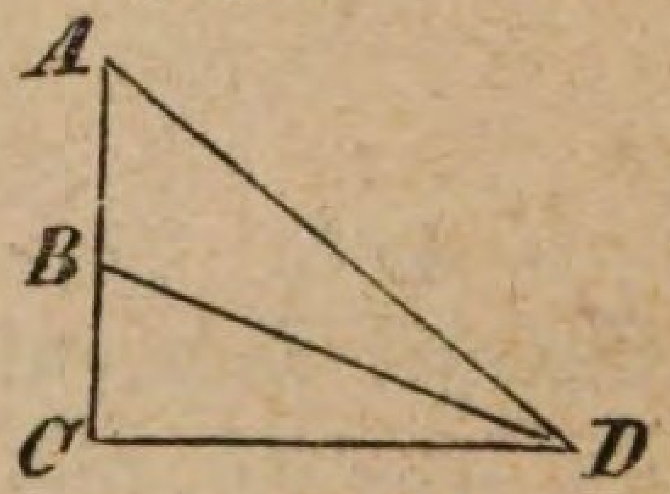
1) Nicht die Sehwinkel, sondern die Tangenten der Sehwinkel nehmen ab, wie die Entfernungen zunehmen, denn wenn in Figur 62 der Gegenstand AB senkrecht stehend angenommen wird, C und D aber zwei Standpunkte sind, so ist:

$$\operatorname{tg} ACB = \frac{AB}{BC} \text{ und } \operatorname{tg} ADB = \frac{AB}{BD}, \text{ also}$$

$$\operatorname{tg} ACB : \operatorname{tg} ADB = \frac{AB}{BC} : \frac{AB}{BD} = BD : BC.$$

2) Sind in Figur 63 AC und BC zwei ungleich große Gegenstände, so steht:

Figur 63.



$$\operatorname{tg} ADC : \operatorname{tg} BDC = \frac{AC}{CD} : \frac{BC}{CD} = AC : BC,$$ d. h. die Tangenten der Sehwinkel zweier gleich weit entfernter Gegenstände verhalten sich zu einander, wie ihre wahren Größen. Sind die Winkel klein und soll die Bestimmung nur beiläufig richtig sein, so kann man statt der Tangenten der Winkel die Winkel selbst setzen.

3) Ist $BC = 5'$, $BDC = 40''$, so führt $\frac{BC}{CD} = \operatorname{tg} CDB$ auf $CD = \frac{BC}{\operatorname{tg} BDC} = \frac{5}{\operatorname{tg} 40''} = 25783'$.

154. Bis auf den dänischen Astronomen Olof Römer, 1675, hielt man die Fortpflanzung des Lichtes für augenblicklich. Er hat zuerst durch genaue Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitertrabanten bewiesen, daß sie zwar nicht augenblicklich, aber doch so schnell geschieht, daß das Licht den Weg von der Sonne bis zu uns, über 20,000,000 Meilen, in fast 8 Minuten zurücklegt, welches eine Geschwindigkeit von mehr als 40,000 geographischen Meilen giebt. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist fast das Millionenfache von der des Schalles, weshalb sie bei allen noch so großen Entfernungen auf der Erde als augenblicklich angenommen werden kann. (§ 144, 2.)

Von dem entferntesten Planeten Neptun gelangt das Licht zu uns in etwa $5\frac{1}{2}$ Stunden, vom nächsten Fixsterne aber erst nach mehr als 3 Jahren, und von den entferntesten Fixsternen nach Jahrhunderten, vielleicht nach Jahrtausenden. Einen etwa untergegangenen Fixstern würden wir noch so lange am Himmel zu sehen glauben, als das letzte von ihm ausgesendete Licht noch nicht zu uns gelangt ist.

Olof Römer's Beobachtung war folgende: Er beobachtete zu wiederholten Malen die Momente des Austritts eines Trabanten aus dem Schatten des Jupiters, natürlich auf der Ostseite des Schattens während der Zeit von der Opposition bis zur Konjunktion des Jupiters, und eben so die Momente des

Eintritts in den Schatten auf der Westseite desselben während der Zeit von der Konjunktion bis zur Opposition und fand, daß weder dort je zwei aufeinanderfolgende Austritte, noch hier zwei aufeinanderfolgende Eintritte nach genau gleicher Zeit erfolgten, was bei einer augenblicklichen Fortpflanzung des Lichtes doch durchaus hätte sein müssen, z. B. beim ersten Trabanten nach je 42 Stunden 28' 35'', weil das seine Umlaufszeit ist. Die Austritte wurden desto später bemerkt, je mehr sich die Erde von der Opposition bis zur Konjunktion vom Jupiter entfernte, und die Eintritte desto früher, je mehr sich die Erde von der Konjunktion bis zur Opposition dem Jupiter näherte. War der Unterschied zwischen den Entfernungen zweier Beobachtungsorte der Erdbahn vom Jupitermonde der Entfernung der Erde von der Sonne gleich, so betrug der Zeitunterschied nicht ganz $8^1/_4$ Minuten. — Ein anderer Beweis für diese Geschwindigkeit beruht auf der Aberration des Lichtes. (Bradley 1727.) Math. Geogr. S. 57. Fizeau in Paris, 1856, maß dieselbe mittelst eines Drehspiegels 42569 Meilen in der Sekunde.

II. Die Katoptrik oder die Lehre von der Zurückwerfung des Lichtes.

155. Jede gut polirte Fläche heißt hier ein Spiegel. Die Spiegel sind entweder ebene (Planspiegel), oder krumme Spiegel; die letzteren sind entweder konkav (hohl), oder konvex (erhaben), nach der Beschaffenheit der polirten Fläche selbst. Von den krummen Spiegeln werden hier nur die Kugelspiegel oder sphärischen Spiegel näher betrachtet.

Natürliche Spiegel sind: die Oberfläche des ruhenden Wassers, des Quecksilbers, die Krystalloberflächen u. s. w.; künstliche vorzüglich: Glas- und Metall-Spiegel, von denen zu katoptrischen Zwecken sich die letzteren am besten eignen.

156. Die aus Beobachtungen abgeleiteten Hauptgesetze der Katoptrik sind: 1) Der Zurückstrahlungs- oder Reflexionswinkel ist immer gleich dem Einfallswinkel. 2) Das Einfallsloth und die beiden Strahlen, der einfallende und der zurückgeworfene, liegen immer in derselben Ebene, welche Reflexionsebene heißt und auf der reflektirenden Ebene senkrecht steht.

Das Einfallsloth ist das Loth auf der Spiegelfläche in demjenigen Punkte, welchen der Lichtstrahl trifft. — Der Einfallswinkel hat zu seinen Schenkeln den einfallenden Strahl und das Einfallsloth; der Zurückstrahlungswinkel dagegen den zurückgeworfenen Strahl und das Einfallsloth.

1. Von den ebenen Spiegeln.

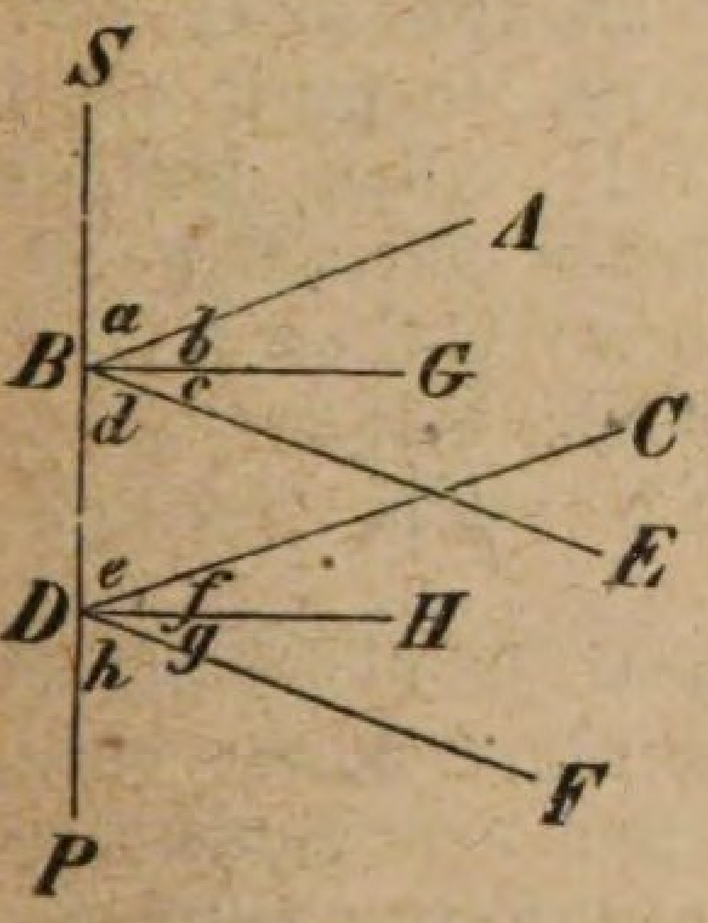
157. 1) Aus jenen Gesetzen ergiebt sich für Planspiegel Folgendes: Parallel auffallende Strahlen bleiben auch nach der Zurückwerfung parallel, wie die konvergenten konvergent, die divergenten divergent, was sich mit Zuziehung einiger geometrischer Sätze zeigen läßt.

In Figur 64 sei SP der senkrechte Durchschnitt eines ebenen Spiegels, AB ⌗ CD die einfallenden Strahlen, BG und DH die Einfallslothe, BE und DF die zurückgeworfenen Strahlen, so ist, weil $a = e$ und $b = f$, desgleichen $b = c$ und $f = g$, auch $c = g$, sowie $d = h$; mithin DF ⌗ BE.

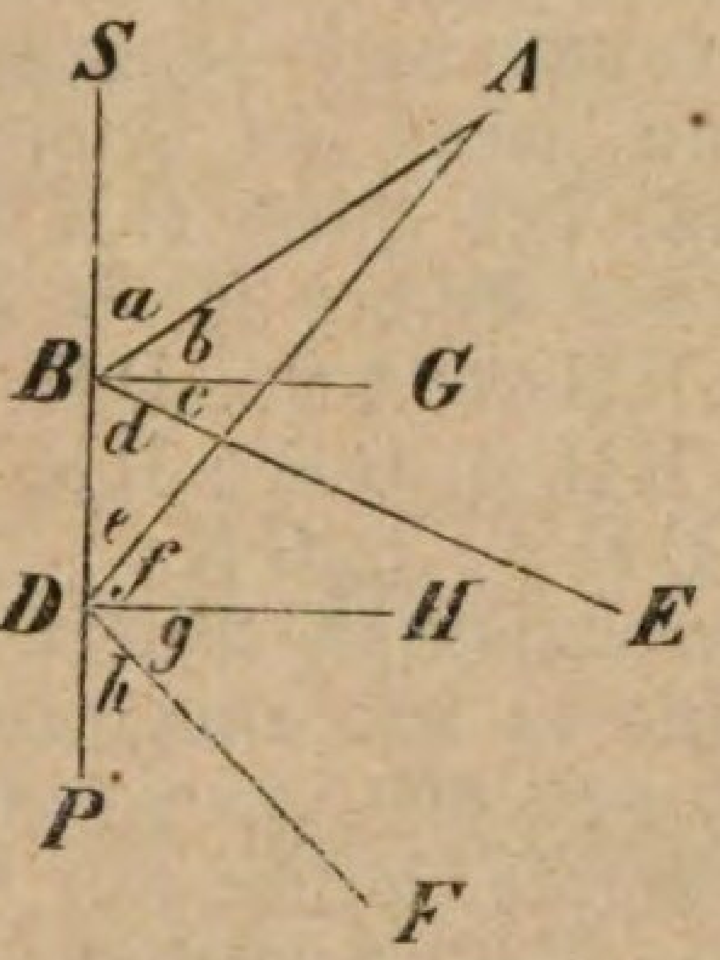
Sind in Figur 65 AB und AD aus dem Punkte A kommende, auf den Spiegel also divergent auffallende Strahlen, so steht: $c + d + e + f = 2R$; da aber $a > e$, mithin $b < f$ und $c < g$, so ist $d + e + f + g > 2R$ und darum divergiren BE und DF.

Sind endlich in Figur 66 AB und CD konvergente Strahlen, die sich erst hinter dem Spiegel in E vereinigen würden, so steht: $c + d + e + f = 2R$; da aber $y > x$, also auch $e > a$, mithin $f < b$, sowie $g < c$, so ist: $d + e + f + g < 2R$ und darum konvergiren die zurückgeworfenen Strahlen und schneiden sich daher hinlänglich verlängert in F.

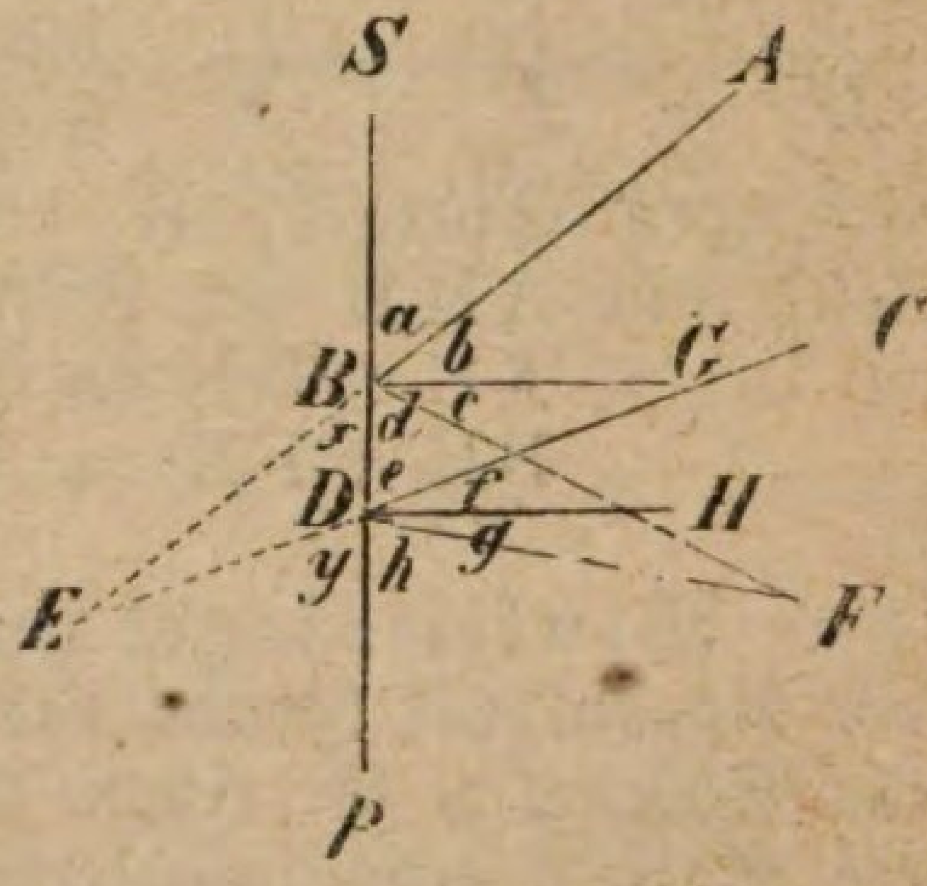
Figur 64.



Figur 65.

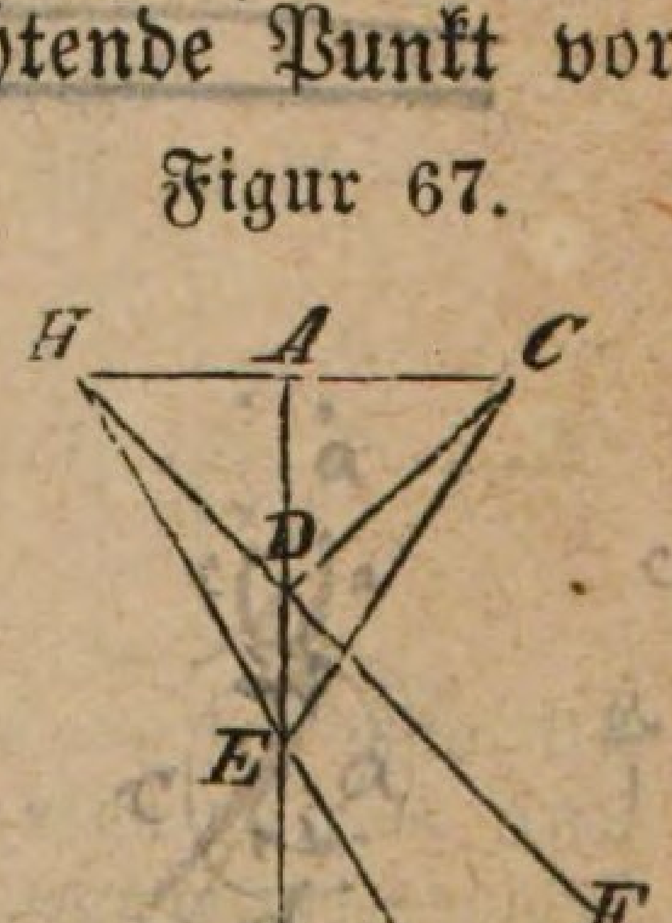


Figur 66.



2) Alle Strahlen, die aus einem leuchtenden Punkte kommen, werden so zurückgeworfen, daß es scheint, als kämen sie aus einem Punkte hinter dem Spiegel, wohin auch ein Auge, welches die zurückgeworfenen Strahlen treffen, den leuchtenden Punkt versetzt. Dieser Punkt ist der Durchschnittspunkt der rückwärts verlängerten zurückgeworfenen Strahlen; er heißt das geometrische Bild des leuchtenden Punktes, auch sein subjektives Bild, da es nichts objektiv Vorhandenes ist, sondern nur dem Auge des Beobachters, des sehenden Subjekts, erscheint. Es läßt sich geometrisch beweisen, daß das Bild eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demselben; daß man also den Ort desselben findet, wenn man vom leuchtenden Punkte auf den Spiegel einen Perpendikel fällt, und diesen hinter die Spiegelfläche um seine eigene Größe verlängert; dieser Verlängerung Endpunkt ist dann der Ort des Bildes.

Figur 67.



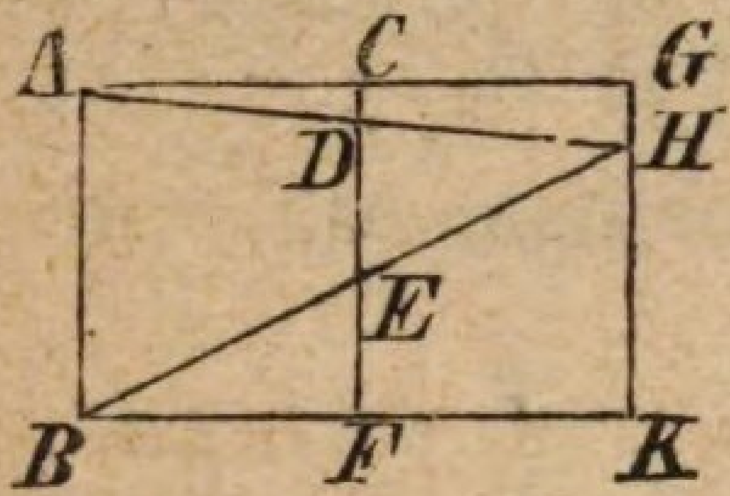
Von den vielen in Figur 67 aus C auf den senkrechten Durchschnitt AB eines Planspiegels fallenden Strahlen betrachten wir nur CD und CE, die längs DF und EG divergirend zurückgeworfen werden. Ein Auge, welches von DF und EG getroffen wird, versetzt den leuchtenden Punkt in die Richtung, in welcher es durch die reflektirten Strahlen DF und EG den Lichteindruck erhalten hat, nach H; zieht man nun HC, so ist:

$\triangle HDE \cong \triangle CDE$ (DE = DE, und die beiden anliegenden Winkel

sind in beiden Dr. =), also HE = EC; mithin △ HEA ≅ △ AEC (zwei Seiten und der eingeschlossene Winkel), mithin ∠ HAE = ∠ EAC = R und HA = AC.

3) Das Bild eines ganzen Objektes, welches hier nur als eine Summe leuchtender Punkte zu betrachten ist, befindet sich eben so weit hinter dem Spiegel, als dieses vor demselben, hat dabei dieselbe Größe und Gestalt; nur daß, was beim Objekte links, im Bilde rechts liegt, und so umgekehrt.

Figur 68.



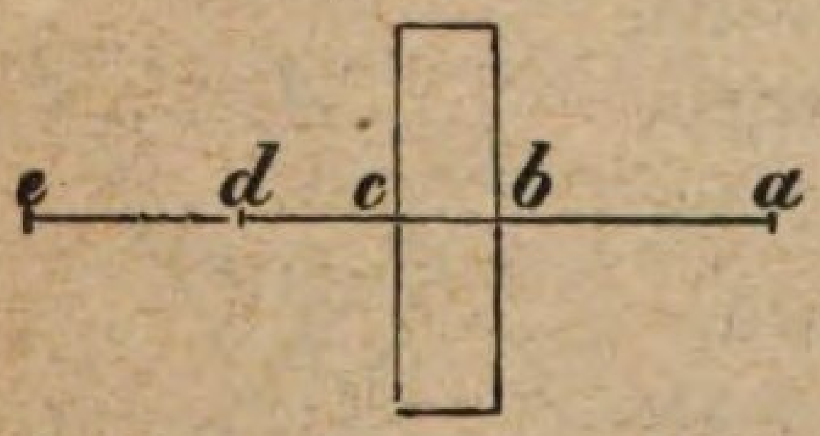
Die Bäume und alle andern Gegenstände an den Ufern der Flüsse erscheinen daher in dem horizontalen Wasserspiegel verkehrt; wie in den, unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont geneigten, Spiegeln die liegenden Gegenstände aufrecht, die aufrechten liegend. — Ein Spiegel, in dem sich ein Mensch ganz sehen soll, darf nur halb so hoch und halb so breit als er sein; denn wenn in Figur 68 CF einen senkrecht stehenden Spiegel, H das Auge des durch GK bezeichneten Menschen vorstellt, und AHB der Sehwinkel des Bildes ist, so steht, wenn CG = AC:

AB : DE = BH : EH ⎧ AB : DE = BK : FK
BK : FK = BH : EH ⎩ GK : DE = 2FK : FK
DE = $\frac{1}{2}$GK.

Winkelspiegel geben vervielfältigte Bilder und zwar so viele, als oft die Anzahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist, weniger Eins; bilden die Spiegel z. B. einen Winkel von 60°, so zeigen sich um den Punkt, wo die Spiegel zusammentreffen, 5 Bilder, welche mit dem Gegenstande selbst eine symmetrisch regelmäßige sechsseitige Figur darstellen; so wie in zwei parallel aufgestellten Spiegeln unendlich viele, immer weiter entferntere Bilder entstehen, indem das in einem Spiegel entstandene Bild für den andern Spiegel immer zum Objekte wird. Dort müssen einmal die Bilder außerhalb dem zu jedem Spiegel gehörenden Raume fallen, also sich abzubilden aufhören, während sie hier immer darin bleiben müssen; daher dort die Anzahl der Bilder begrenzt ist, hier aber unbegrenzt wäre, wenn nicht bei jeder Zurückwerfung ein Theil des Lichtes unzurückgeworfen bliebe, und dadurch die Bilder immer schwächer leuchteten, und wegen der immer größer werdenden Entfernung auch immer kleiner erschienen; gewöhnlich sieht man nur 6—8 Bilder.

Daß unsere gewöhnlichen Glasspiegel zwei Bilder geben, liegt daran, daß die Vorderfläche und die Hinterfläche Strahlen zurückwerfen, wenn auch die letztere wegen der Amalgambelegung viel stärker. Diese zwei Bilder sind

Figur 69.



immer um die doppelte Dicke des Spiegels von einander entfernt, denn in Figur 69, wo bc die Dicke des Spiegels, a ein Objekt, d und e die beiden Bilder vorstellen, ist 1) ab = bc + cd, 2) ab + bc = cd + de und wenn (1) in (2) gesetzt wird, 3) 2bc + cd = cd + de oder 2bc = de; oder auch so: ac = ce und ab = bd, mithin ac — ab = ce — bd oder bc = ed + dc — (bc + cd) oder = de — bc oder endlich 2bc = de; oder auch für jede beliebige Dicke des Spiegels und für jede beliebige Entfernung des Objektes einfach so: ist z. B. der Spiegel 1 Linie dick und beträgt die Entfernung des Objektes 2 Zoll, so ist das erste Bild 1″ 11‴, das zweite aber 2″ 1‴ hinter der Hinterfläche des Spiegels, die Entfernung der Bilder von einander beträgt also 2‴. Hierauf gründet sich die Prüfung der Dicke des Glases eines eingerahmten Spiegels. Hält man senkrecht über dem Spiegel eine Stecknadel, mit dem Köpfchen seine Fläche berührend, so fallen in Figur 68 a und d mit b zusammen, und ed, die Entfernung des

Köpfchens von seinem Bilde, ist die doppelte Dicke des Glases. Es entstehen zuweilen noch mehrere Bilder, wenn das von der Hinterfläche zurückgeworfene Licht zur Vorderfläche nur zum Theil heraustritt, zum Theil aber von ihr nach der Hinterfläche und erst von dieser wieder in das Auge zurückgeworfen wird.

Auf den ebenen Spiegeln beruhen manche theils zur Unterhaltung, theils zu wissenschaftlichen Zwecken bestimmte optische Instrumente, z. B. das Kaleidoskop von Brewster in Edinburg, die Guck- und Spiegelkasten, das Polemoskop oder Zauberperspektiv, so wie die Spiegelzimmer; ferner der Heliostat und der Spiegel-Sextant — Pyramidenspiegel.

2. Von den sphärischen Spiegeln.

158. Bei den sphärischen Spiegeln nennt man die gerade Linie, welche durch den Mittelpunkt des Spiegels (optischen Mittelpunkt) und durch den Mittelpunkt der Kugel (geometrischen Mittelpunkt), von welcher der Spiegel ein Kugelabschnitt ist, gezogen gedacht wird, die Achse des Spiegels. Das Einfallsloth ist hier immer der Kugelradius nach demjenigen Punkte, in welchem der Strahl den Spiegel trifft; er ist ein Perpendikel auf der die Kugel in seinem Treffungspunkte berührenden Ebene.

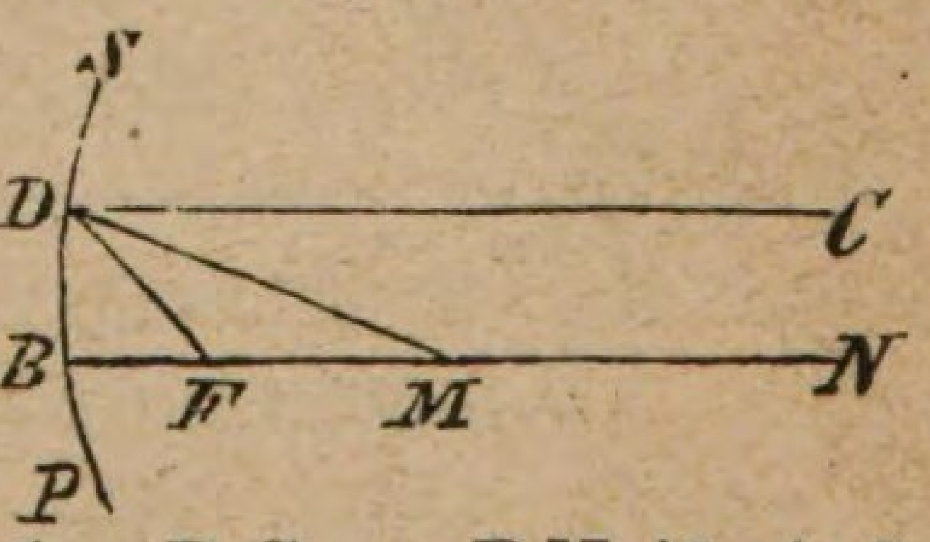
a. Konkavspiegel.

159. Aus den katoptrischen Hauptgesetzen ergeben sich leicht folgende Sätze für die Konkavspiegel:

1) Strahlen, welche parallel mit der Achse auf den Spiegel fallen, werden so zurückgeworfen, daß sie alle die Achse schneiden; liegen sie ihr nahe, so geschieht dieses etwa in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte, und zwar desto genauer in der Mitte, je näher sie ihr sind. Brennpunkt oder Fokus — Brennweite oder Fokalentfernung.

Die Breite des Spiegels ist im Vergleich der Brennweite nur gering. — Brennraum. — Brennlinie. — Brennspiegel. — Sammelspiegel.

Figur 70.

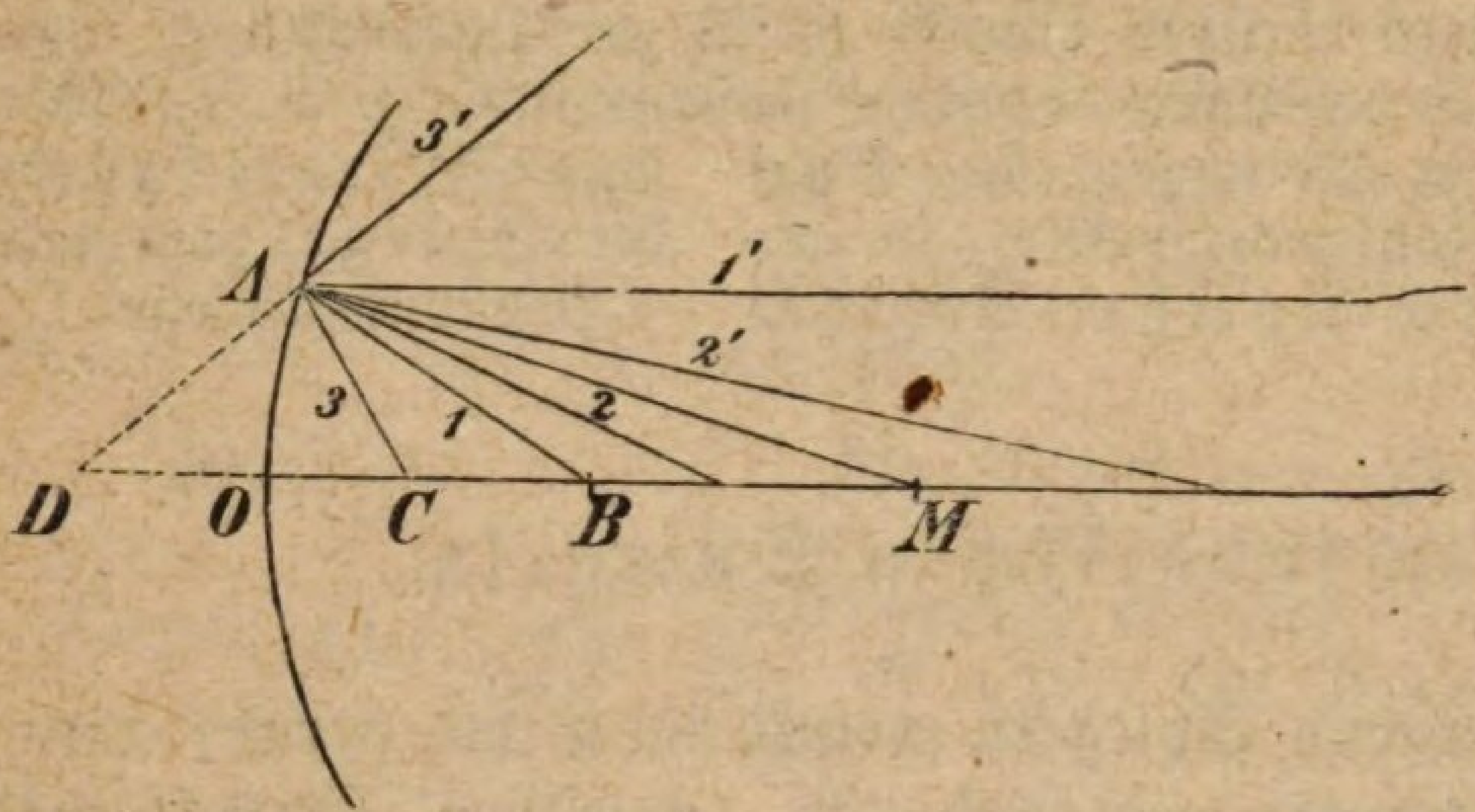


Ist in Figur 70 SP der senkrechte Durchschnitt eines Hohlspiegels, BN seine Achse, M der geometrische Mittelpunkt, CD der mit der Achse parallel auffallende Strahl, DM also das Einfallsloth und DF der zurückgeworfene Strahl, so soll BF = FM sein. Nach dem katoptrischen Hauptgesetze ist ∠ CDM = ∠ MDF, und weil CD ⌗ BN, ∠ CDM auch = ∠ DMF, also auch ∠ MDF = ∠ DMF, mithin auch DF = MF; je näher aber DC an BN ist, desto mehr nähert sich DF an Größe der BF, desto mehr also auch BF der FM.

Die zur Achse konvergenten Strahlen werden noch konvergenter; die divergenten können aber nach der Zurückwerfung konvergent, parallel oder weniger divergent werden, je nachdem die Größe ihrer Divergenz ist, was wieder von der Entfernung des leuchtenden Punktes abhängt.

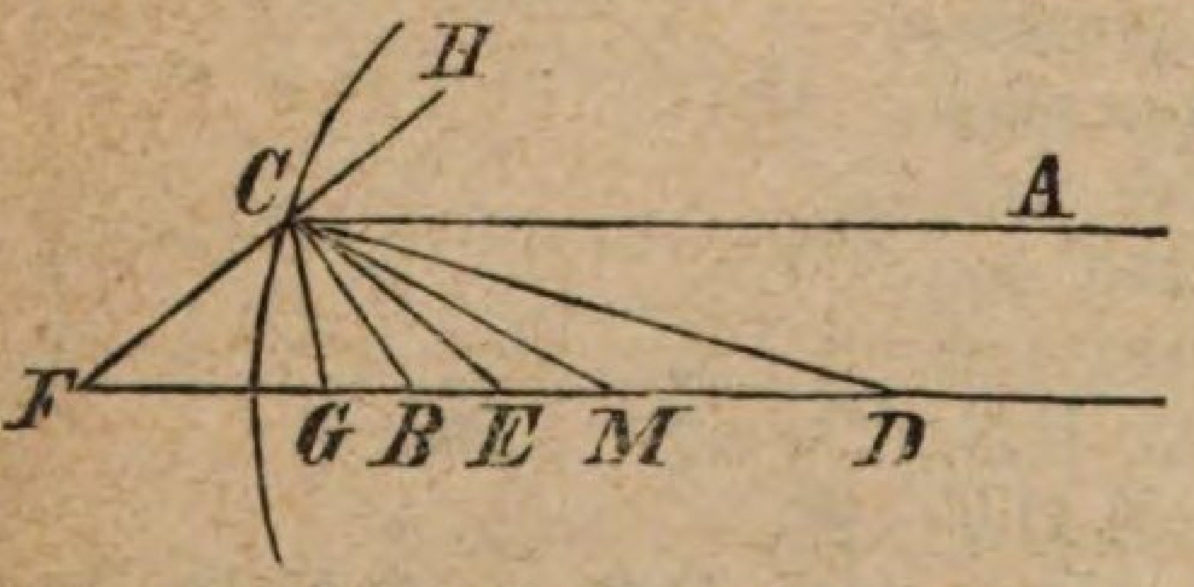
Hält man fest, daß in Figur 71 ein Strahl wie AB als einfallender Strahl, also von B nach dem Spiegelpunkte A gehend, zur Achse divergent, als zurückgeworfener Strahl aber, also von dem Spiegelpunkte A nach B gehend, zur Achse konvergent genannt werden muß, so geht, wenn 1' und 1, 2' und 2, so wie 3' und 3 zusammengehören, indem sie mit dem Einfallslothe AM paarweise gleiche Winkel bilden, und wenn die im Folgenden angegebene erste Zahl immer den einfallenden, die zweite den zurückgeworfenen Strahl bezeichnet, aus der Zeichnung, in welcher 1' parallel zur Achse gedacht wird, Folgendes hervor: — 1' und 1 zeigen, daß zur Achse parallele Strahlen durch die Zurückwerfung konvergent werden. — 3' und 3, daß konvergente Strahlen konvergenter werden, denn bei ungehindertem Laufe würde 3' in die verlängerte Achse in D einschneiden, aber in A zurückgeworfen, schneidet sie schon in C ein, so daß ACB > ADB ist — aus 1 und 1', daß divergente Strahlen parallel, aus 2 und 2' so wie aus 2' und 2, daß divergente Strahlen auch konvergent, aus 3 und 3' endlich, daß divergente Strahlen auch weniger divergent werden können, da ADB < ACB ist.

Figur 71.



2) Bei der Untersuchung der Bilder, welche Hohlspiegel geben, werden wir auch zuerst die Bilder einzelner leuchtender Punkte, und zwar in und außerhalb der Achse, und dann erst die Bilder ganzer Objekte, welches auch immer ihre Entfernung vom Spiegel sein mag, bestimmen. Das Bild eines leuchtenden Punktes ist überhaupt da, wo sich alle Strahlen desselben nach der Zurückwerfung kreuzen; es ist also hinreichend, den Durchschnittspunkt zweier reflektirter Strahlen zu kennen. Ist nun der leuchtende Punkt in der Achse, so kann diese selbst als der eine Strahl angenommen werden, der in sich selbst zurückgeworfen wird, und man erhält also den Ort des Bildes, wenn man noch einen Strahl außer der Achse annimmt und seine Zurückwerfung bestimmt. Der Einschnittspunkt dieses zurückgeworfenen Strahles in die Achse ist der Ort des Bildes. Fällt nun in Figur 72 auf den Spiegel in C ein Strahl des leuchtenden Punktes in der Achse aus unendlicher Entfernung, so ist dieser Strahl wegen des verschwindend kleinen Winkels, welchen er mit der Achse bildet, als zu ihr parallel zu betrachten und daher das Bild in den Brennpunkt B zu versetzen. Ist D ein in endlicher Entfernung vor dem geometrischen Mittelpunkt in der Achse liegender Punkt, so wird DCM desto < ACM, je näher D am geometrischen Mittelpunkte M liegt, also auch MCE desto < MCB, d. h. indem der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung nach dem geometrischen Mittelpunkte M rückt, rückt sein Bild vom Brennpunkte B auch dahin; in M selbst

Figur 72.



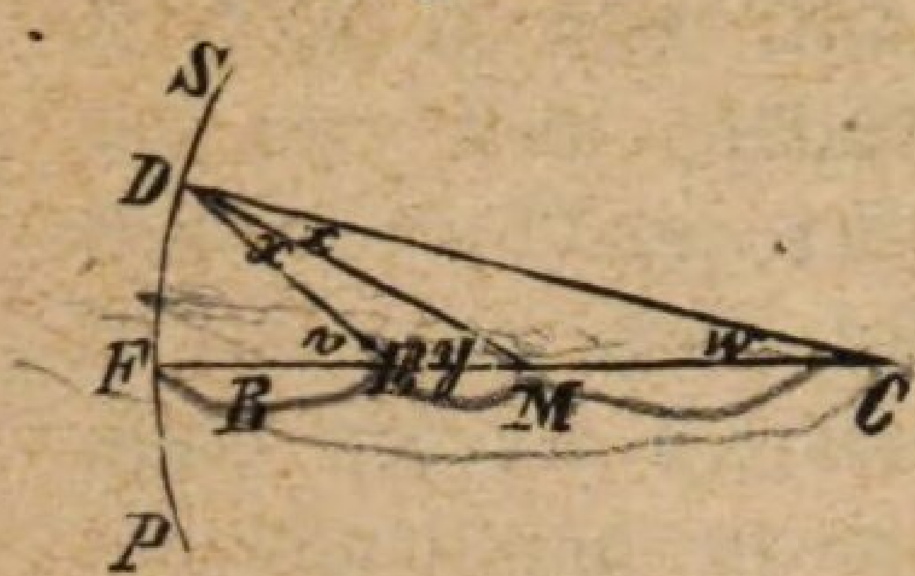
müssen beide zusammenfallen, weil jeder senkrechte Strahl in sich selbst zurückgeworfen wird. Indem der leuchtende Punkt von M nach B rückt, muß das Bild von M ins Unendliche fortrücken, weil nun der einfallende Strahl gleichsam an die Stelle des bisher zurückgeworfenen und dieser an die Stelle jenes tritt, weshalb denn auch jeder aus B kommende Strahl mit der Achse parallel zurückgeworfen werden muß, was zur Folge hat, daß kein Bild entsteht, wenn der leuchtende Punkt im Brennpunkte sich befindet. Man sagt wohl auch, es entstehe ein Bild in unendlicher Entfernung vor oder hinter dem Spiegel, welches letztere insofern passend ist, als bei noch weiterem Fortrücken des leuchtenden Punktes sein Bild auf der Rückseite des Spiegels erscheint. Ist nämlich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so ist ja GCM desto $>$ BCM, also auch HCM desto $>$ ACM, je näher er am Spiegel ist, d. h. der zurückgeworfene Strahl CH kann die Achse auf der Vorderseite des Spiegels nicht schneiden, ihr auch nicht parallel sein, sondern er kann sie rückwärts verlängert nur auf der Rückseite des Spiegels schneiden, und zwar desto näher am Spiegel selbst, je näher ihm auf der Vorderseite der leuchtende Punkt ist. Indem also der leuchtende Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung nach dem Brennpunkte rückt, rückt das Bild vom Brennpunkte ins Unendliche, indem sie sich im geometrischen Mittelpunkte begegnen; indem jener vom Brennpunkte weiter nach dem Spiegel rückt, kommt ihm dieses auf der Rückseite des Spiegels aus unendlicher Entfernung entgegen, so daß sie auf der Spiegelfläche selbst zusammentreffen.

Wo ist also das Bild, wenn der leuchtende Punkt auf der Achse sich befindet a) in unendlicher Entfernung, b) im geometrischen Mittelpunkte, c) im Brennpunkte, d) innerhalb der Brennweite, e) auf der Spiegelfläche selbst?

Die divergenten Strahlen eines leuchtenden Punktes in der Achse haben also entweder eine wirkliche Vereinigung vor dem Spiegel, wenn sie durch die Zurückwerfung konvergent geworden sind, was so lange der Fall ist, als der leuchtende Punkt sich außerhalb der Brennweite befindet; oder sie haben eine scheinbare Vereinigung hinter dem Spiegel, wenn sie durch die Zurückwerfung weniger divergent geworden sind, was dann der Fall ist, wenn der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite ist; oder sie haben endlich gar keine Vereinigung, wenn sie durch die Zurückwerfung parallel werden, was nur dann stattfindet, wenn der leuchtende Punkt im Brennpunkte ist.

Wenn nun die aus dem Vereinigungspunkte wieder divergent ausgehenden Strahlen ein Auge treffen, so sieht dieses dort ein Bild des leuchtenden Punktes. Dieser Vereinigungspunkt ist für das Auge gleichsam ein leuchtender, ihm also Strahlen zusendender Punkt. Das Bild heißt physisch oder ein Luftbild, wenn die Vereinigung der Lichtstrahlen wirklich vor dem Spiegel stattfindet; geometrisch dagegen, wenn sie nur hinter dem Spiegel zu sein scheint; jenes ist ein objektives, dieses ein subjektives Bild.

Figur 73.



Alle diese Fälle sind in folgender Hauptformel der Katoptrik enthalten. Ist in Figur 73 C ein leuchtender Punkt, also CF = a seine Entfernung vom Spiegel, CD der auffallende, DE der zurückgeworfene Strahl, also FE = α die Entfernung des Bildes vom Spiegel, DM das Einfallsloth = FM = r, so steht nach planimetrischen Gründen, weil DM den Winkel EDC halbirt:

DC : DE = MC : ME; liegt aber D sehr nahe an F, so kann man setzen DC = FC und DE = FE, mithin:

FC : FE = MC : ME, also wenn die Brennweite p heißt:

$a : \alpha = a - r : r - \alpha$, oder $a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha$,

also $\alpha\,(a - r) = a\,(r - \alpha)$, oder $\alpha\,(a - 2p) = a\,(2p - \alpha)$,

hieraus $\alpha = \dfrac{ar}{2a - r}$ oder $\alpha = \dfrac{ap}{a - p}$,

welcher letzteren Formel eine leicht zu merkende Gestalt gegeben werden kann,

nämlich $\alpha = \dfrac{ap}{a - p}$ giebt $a\alpha - p\alpha = ap$, nun mit $a\alpha p$ dividirt

ist $\dfrac{1}{p} - \dfrac{1}{a} = \dfrac{1}{\alpha}$ oder: $\dfrac{1}{p} = \dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{\alpha}$, d. h. der umgekehrte Werth der Brennweite ist gleich der Summe aus den umgekehrten Werthen der Entfernungen des leuchtenden Punktes und seines Bildes.

Diese wichtige Formel läßt sich auch so finden:

$$\left.\begin{array}{l} y = v - x \\ y = w + x \end{array}\right\}\ 2y = v + w, \text{ mithin}$$

$v - y = y - w$, oder da diese Winkel alle sehr klein sind:

$tg\,v - tg\,y = tg\,y - tg\,w$ oder da D sehr nahe an F liegt, DF also als eine gerade auf FC senkrechte Linie betrachtet werden kann,

$$\frac{DF}{FE} - \frac{DF}{FM} = \frac{DF}{FM} - \frac{DF}{FC} \text{ oder: } \frac{1}{FE} - \frac{1}{FM} = \frac{1}{FM} - \frac{1}{FC},$$

$$\text{also } \frac{2}{FM} = \frac{1}{FE} + \frac{1}{CF} \text{ oder: } \frac{2}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} \text{ oder}$$

$$\text{endlich: } \frac{1}{p} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}.$$

Beispiele für bestimmte Werthe von p, a, z. B. für p = 8″ und a = 1′ 8″ steht:

$$1/8 = \frac{1}{\alpha} + 1/20 \text{ oder: } 20\alpha = 160 + 8\alpha \text{ oder: } 12\alpha = 160,$$

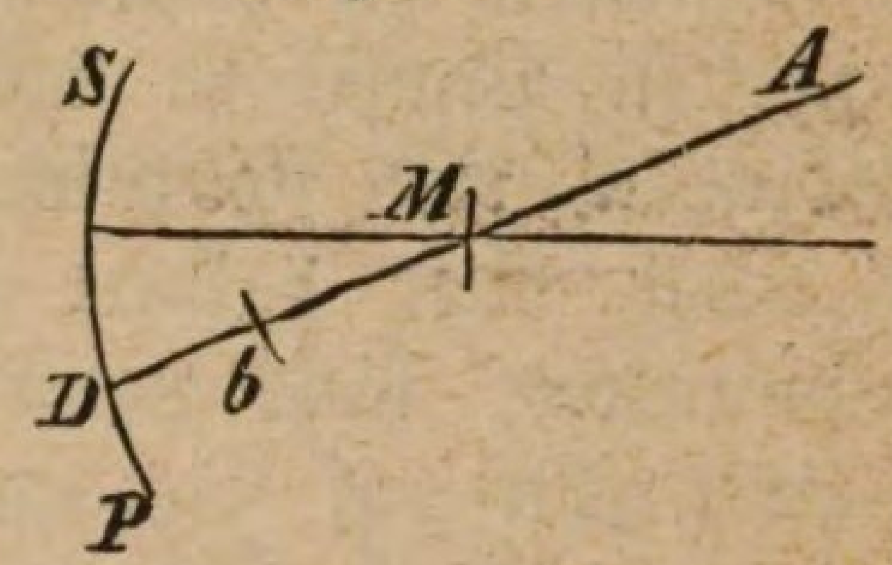
$$\text{mithin } \alpha = 13\tfrac{1}{3}'' = 1'\ 1\tfrac{1}{3}'',$$

so wie p = 8″ und a = 1′ 4″ = 16″ richtig giebt α = 1′ 4″.

3) Ist der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so verhalten sich alle Strahlen zum Hauptstrahle, d. h. demjenigen Strahle, der durch den geometrischen Mittelpunkt geht, gerade so, wie in dem Falle, wo er in der Achse liegt, sich alle Strahlen zur Achse verhalten. In den Hauptstrahl fallen nämlich alle Bilder des in seiner Richtung sich bewegenden leuchtenden Punktes, in Bezug auf die Achse

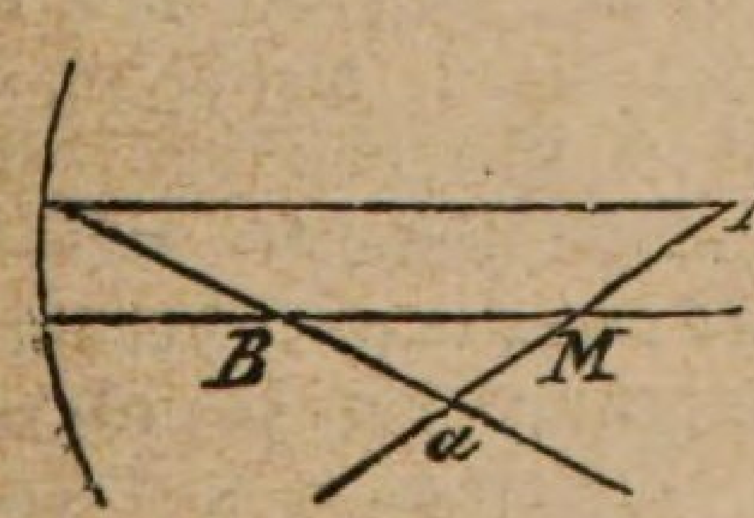
des Spiegels aber liegen diese Bilder immer außerhalb derselben, ausgenommen, wenn das Bild in den Durchschnittspunkt des Hauptstrahles und der Achse fällt. Ist in Fig. 74 A der leuchtende Punkt und M der geometrische Mittelpunkt, AD also der Hauptstrahl, so können wir uns D als optischen Mittelpunkt eines Spiegels denken, und dann muß, wenn A unendlich weit entfernt ist, sein Bild in b liegen, wenn Db = bM ist; wenn A nach M rückt, muß das Bild von b nach M rücken ꝛc. Diese Betrachtung zeigt, daß ein leuchtender Punkt über, unter oder seitwärts der Achse des Spiegels sein Bild auch über, unter oder seitwärts derselben hat, und zwar bei physischen Bildern immer entgegengesetzt liegend.

Figur 74.

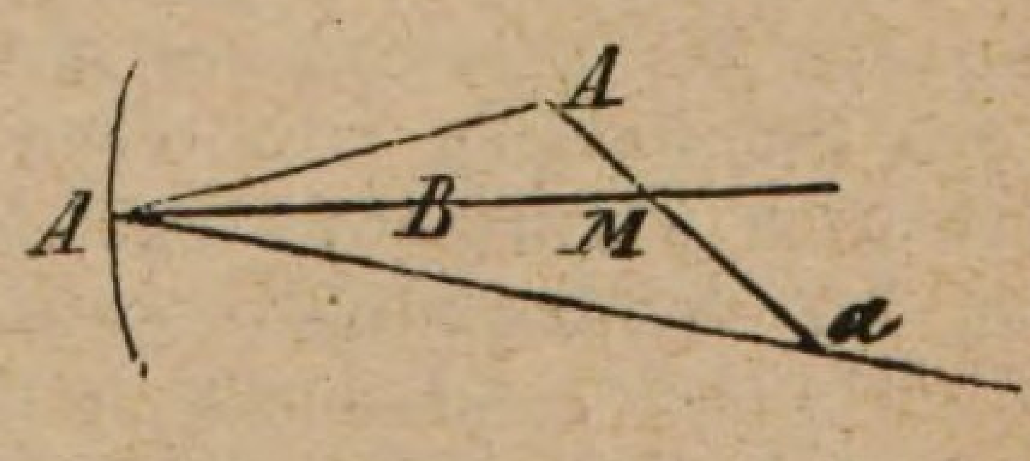


Auch durch Konstruktion läßt sich die Sache deutlich übersehen, indem man den Durchschnittspunkt zweier zurückgeworfener Strahlen bestimmt. Wenn es auch im Allgemeinen zwei ganz beliebige Strahlen sein können, so sind sie doch nicht alle gleich bequem für die Zeichnung. Es eignen sich hierzu am besten drei Strahlen: nämlich der zur Achse parallele, der Hauptstrahl, und der nach dem optischen Mittelpunkte gehende. Man wählt von diesen entweder den Hauptstrahl, der in sich selbst, und den mit der Achse parallel auffallenden, der durch den Brennpunkt zurückgeworfen wird; oder den Hauptstrahl und den nach dem optischen Mittelpunkte, der zurückgeworfen mit der Achse auf der andern Seite denselben Winkel bilden muß; oder endlich den mit der Achse parallel auffallenden und den nach dem optischen Mittelpunkte gehenden. Diese drei Methoden stellen die Figuren 75, 76 und 77 vor, indem A der leuchtende Punkt, a aber sein Bild ist.

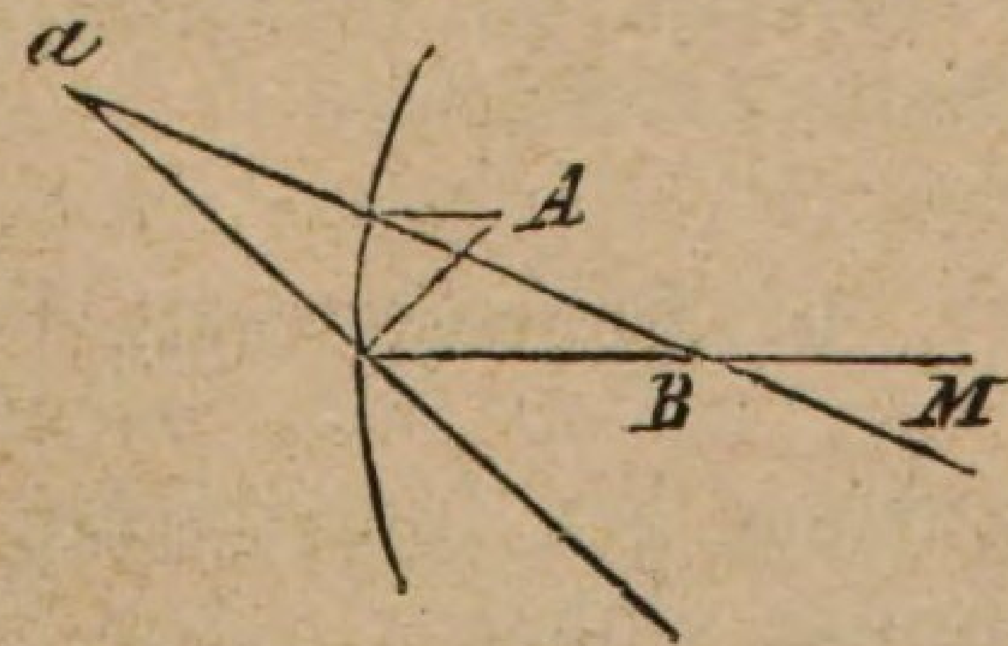
Figur 75.



Figur 76.



Figur 77.



Die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ findet auch hier Anwendung; p, a und α müssen aber auf den Hauptstrahl bezogen werden.

4) Nun ist es auch im Allgemeinen leicht, die Lage, Größe und Entfernung der Bilder ganzer Objekte in jedem einzelnen Falle durch Konstruktion zu bestimmen. Man hat nur nöthig, die Bilder der äußersten Punkte zu bestimmen, und diese durch eine gerade Linie zu verbinden, und stellt man das Objekt so auf die Achse senkrecht, daß es durch diese halbirt wird, so bestimmt man nur das Bild eines Endpunktes, fällt von da einen Perpendikel auf die Achse und verlängert ihn auf die andere Seite derselben um seine eigene Länge. Auf diese Weise findet man folgende Ergebnisse, welche die Erfahrung auch bestätigt. Rückt das Objekt aus unendlicher Entfernung dem geometrischen Mittelpunkte zu, so rückt sein Bild ihm entgegen aus dem Fokus bis dahin, ist dabei physisch, verkehrt, kleiner als das Objekt; aber immer größer werdend, bis es im geometrischen Mittelpunkte, wo es auf das Objekt fällt, mit ihm dieselbe Größe erreicht. Nähert sich das Objekt vom geometrischen Mittelpunkte dem Fokus, so entfernt sich das Bild von dort ins Unendliche, ist physisch, verkehrt und wird immer größer, verschwindet aber ganz, wenn das Objekt den Fokus erreicht hat. Nähert sich endlich das Objekt vom Fokus dem Spiegel, so erscheint das Bild hinter der Spiegelfläche, ist geometrisch, aufrecht, größer als das Objekt, und rückt aus unendlicher Entfernung, immer kleiner werdend, dem Spiegel zu und erhält mit ihm dieselbe Größe, sobald es mit ihm auf der Spiegelfläche zusammenzufallen scheint.

Man bestimmt den Brennpunkt eines Brennspiegels unter andern, indem man ihn vor die Sonne hält und die Entfernung des kleinsten Sonnenbildes, welches mit einem Blatte Papier aufgefangen wird, mißt.

Die Anwendung der Konkavspiegel als Erleuchtungsspiegel bei den Straßen- und Flurlaternen, so wie auf Leuchtthürmen beruht darauf, daß die aus dem Brennpunkte auf den Konkavspiegel fallenden Strahlen von demselben parallel zurückgeworfen werden. — Die Anwendung der Konkavspiegel als Brennspiegel dagegen umgekehrt darauf, daß die mit der Achse parallel auf den Konkavspiegel auffallenden Wärmestrahlen, welche im Sonnenlichte mit den Lichtstrahlen verbunden und denselben Gesetzen der Zurückwerfung unterworfen sind (§ 187), nach dem Brennpunkte reflektirt werden. Die Anwendung der Konkavspiegel endlich als Zauberspiegel beruht darauf, daß die Luftbilder, als durch wirkliche Vereinigung der zurückgeworfenen Lichtstrahlen entstanden, nicht nur mittelst Flächen aufgefangen werden können, sondern sich auch bei stattfindender Bewegung der sie hervorbringenden Gestalten, welche sich stets außerhalb der Brennweite befinden, selbst bewegen.

Parabolische und elliptische Hohlspiegel.

b. Konvexspiegel.

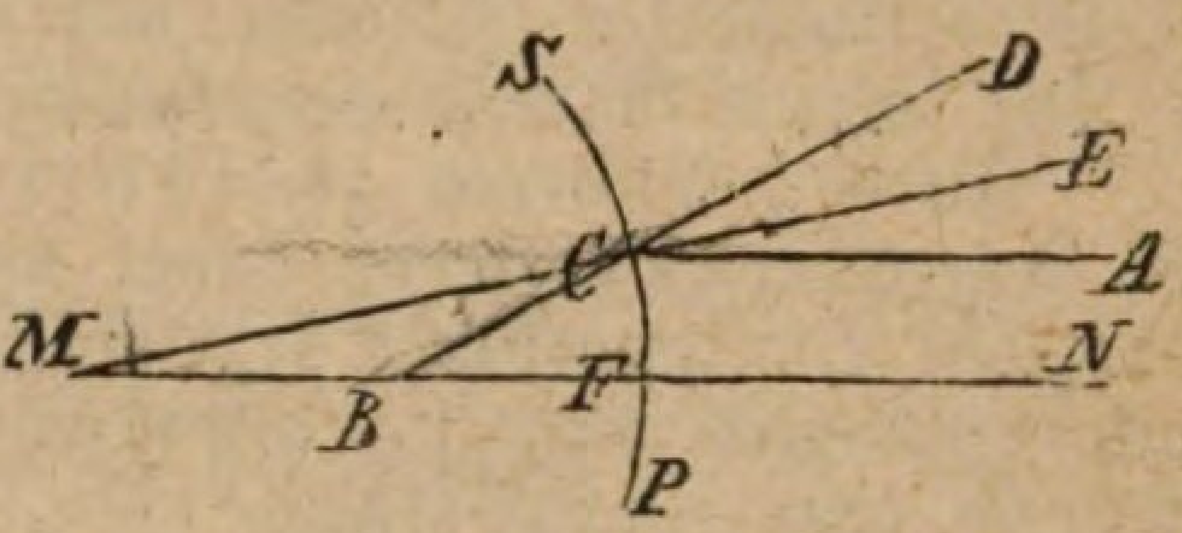
160. Die Anwendung der katoptrischen Hauptgesetze auf die Konvexspiegel giebt folgende Sätze:

1) Parallel mit der Achse auffallende Strahlen werden divergent zurückgeworfen und schneiden rückwärts verlängert die Achse hinter dem Spiegel. Je näher der Achse ein solcher Strahl liegt, desto ge-

nauer ist der Einschnittspunkt, die Mitte des Kugelradius, welcher Punkt hier **Zerstreuungspunkt** oder **negativer Brennpunkt**, sowie seine Entfernung vom Spiegel die **negative Brennweite** heißt, und man sagt: bei konvexen Spiegeln werden parallel mit der Achse auffallende Strahlen so zurückgeworfen, daß es scheint, als kämen sie aus dem Zerstreuungspunkte.

Ist in Figur 78 SP der senkrechte Durchschnitt des auf der Seite nach A hin polirten Spiegels, MN die Achse, AC der zur Achse parallele Strahl, MC das Einfallsloth und ∠ DCE = ∠ ECA, so ist CD der zurückgeworfene Strahl, welcher rückwärts verlängert, die Achse in B schneidet. Daß BF = MB = $\frac{1}{2}$MF ist, wird hier wie bei Konkavspiegeln bewiesen.

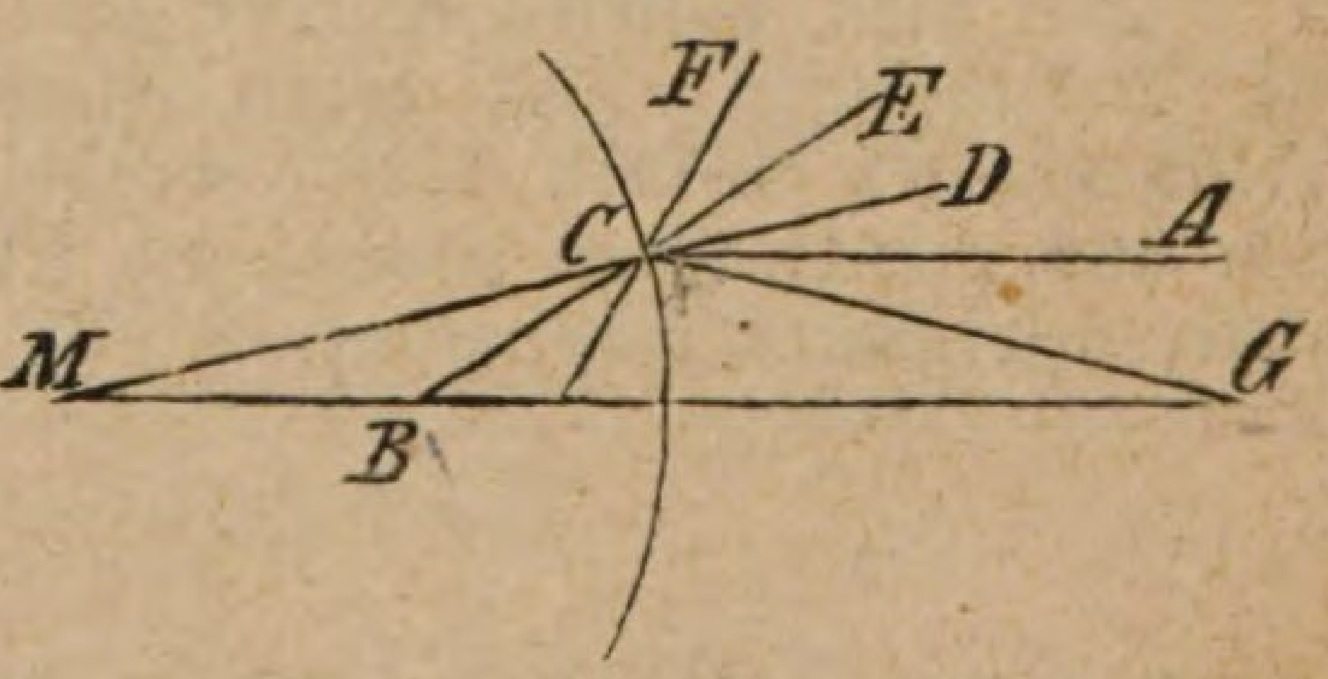
Figur 78.



Divergente Strahlen werden divergenter und konvergente weniger konvergent; die Konvexspiegel begünstigen also die Divergenz, wie die Konkavspiegel die Konvergenz; jene zerstreuen, diese sammeln die Lichtstrahlen, daher auch jene **Zerstreuungsspiegel**, diese aber **Sammelspiegel** heißen.

2) Hinsichtlich des Bildes eines leuchtenden Punktes und eines ganzen Objektes ist Folgendes zu merken. Indem sich der auf der Achse befindende leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung dem Spiegel auf der Vorderseite nähert, nähert sich auch sein Bild aus dem Zerstreuungspunkte demselben auf der Rückseite, und sie treffen auf dem Spiegel selbst zusammen; denn liegt in Figur 79 G auf der Achse in unendlicher Entfernung, so ist sein nach C gehender Strahl als der Achse parallel zu betrachten, wie AC, mithin wird er so zurückgeworfen, daß er aus dem negativen Brennpunkte B, wie CE, zu kommen scheint; liegt nun G in endlicher Entfernung, so wird ja, wenn MD das Einfallsloth ist, GCD desto > ACD, mithin auch FCD desto > ECD, je näher G am Spiegel ist, d. h. der zurückgeworfene Strahl schneidet in die Achse auf der Rückseite desto näher am Spiegel ein, je näher der leuchtende Punkt der Vorderfläche desselben ist. Das Bild eines außerhalb der Achse liegenden leuchtenden Punktes kann mittelst zweier Strahlen, wie bei den Konkavspiegeln durch Konstruktion bestimmt werden.

Figur 79.



Auf gleiche Weise wird auch das Bild ganzer Objekte, wie bei Konkavspiegeln bestimmt. Es ist immer geometrisch und hat mit dem Objekte dieselbe Stellung, wie bei den Planspiegeln, ist aber kleiner, und zwar desto kleiner, je näher es dem Zerstreuungspunkte ist, von dem es sich, größer werdend, bis zum Spiegel bewegt, indem das

Objekt auf der Vorderseite aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel rückt. Die Bilder treten hier also nie aus der negativen Brennweite heraus.

Auch hier gilt die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, nur muß p negativ gesetzt werden. —

Alle Erscheinungen an den sphärischen Spiegeln lassen sich am besten in einem verfinsterten Zimmer mit einer Lichtflamme an Metallspiegeln zeigen. — Die in den Gärten aufgestellten, inwendig geschwärzten Glaskugeln.

In den konvexen zylindrischen und konischen Spiegeln erscheinen alle Gegenstände verzerrt, daher müssen auch die Zeichnungen, welche in solchen Spiegeln ein kenntliches regelmäßiges Bild geben sollen, verzerrt, wenn auch nach bestimmten Regeln, entworfen sein; sie heißen katoptrische Anamorphosen oder Zerrbilder.

161. Von undurchsichtigen, nicht polirten oder rauhen Körpern wird das Licht auch zurückgeworfen, aber unregelmäßig, d. h. so, daß die aus einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen nach verschiedenen Richtungen zurückgeworfen werden. Das Licht wird, wie man sagt, zerstreut (Diffussion der Lichtstrahlen). Mit dieser Zerstreuung des Lichtes ist eine Schwächung desselben verknüpft, welche noch dadurch vermehrt wird, daß die Körper nach ihrer Farbe, wovon später die Rede sein wird, nie das ganze empfangene Licht, sondern nur einen bald größeren, bald kleineren Theil desselben zurückwerfen. Alle dunkeln Körper sehen wir nur durch zurückgeworfenes Licht.

Die nicht polirten Körper haben (wenn auch nur kleine) Erhabenheiten und Vertiefungen, von deren Flächen das Licht nach allen Seiten hin zurückgeworfen werden kann; weshalb wir die Körper durch dieses zerstreute Licht aus verschiedenen Richtungen sehen können. Die dadurch in der Atmosphäre bewirkten Erscheinungen § 175.

III. Die Dioptrik oder die Lehre von der Brechung des Lichtes.

162. Das Licht erleidet eine Brechung, wenn es aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes durchsichtiges, dichteres oder dünneres Mittel unter einem schiefen Winkel übergeht; ungebrochen geht es aber durch, sobald es rechtwinklig das andere Mittel trifft. Die dioptrischen Hauptgesetze sind folgende:

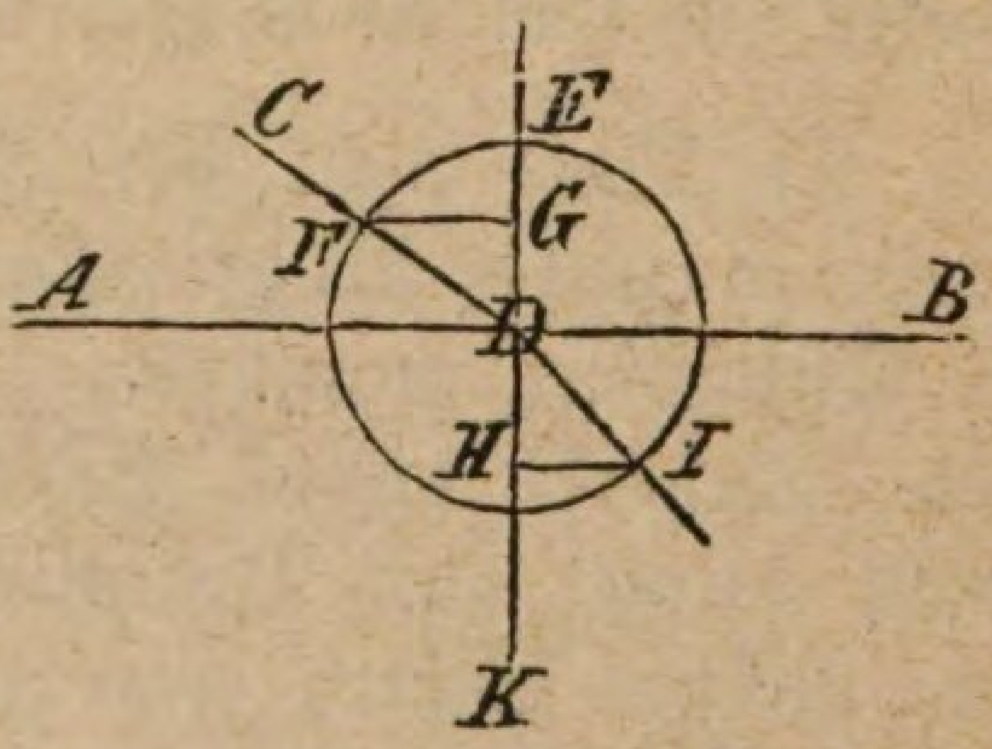
1) Geht das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres über (z. B. aus Luft in Glas oder in Wasser), so wird es zum Einfallslothe hin, und wenn es aus einem dichteren in ein dünneres übergeht (z. B. aus Glas oder aus Wasser in Luft), vom Einfallslothe ab, gebrochen.

2) Der einfallende Strahl, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth liegen in einer und derselben Ebene. Diese steht auf der Trennungsfläche beider Mittel senkrecht.

3) Bei dieser Brechung haben nicht die Einfalls- und Brechungswinkel ein bestimmtes Verhältniß zu einander, sondern die Sinusse derselben, oder die Perpendikel von den Endpunkten gleicher Stücke des einfallenden und des gebrochenen Strahles auf die zugehörigen Einfallslothe.

Was ist der Einfallswinkel, was der Brechungswinkel, was das Brechungsverhältniß? Welches von zwei Mitteln heißt das stärker oder schwächer brechende? Das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas ist 3 : 2 oder 1 : $^2/_3$, aus Luft in Wasser 4 : 3 oder 1 : $^3/_4$; also aus Glas in Luft 2 : 3 oder 1 : $^3/_2$, so wie aus Wasser in Luft 3 : 4 oder 1 : $^4/_3$. Bei sehr kleinen Winkeln kann man ohne großen Fehler das Brechungsverhältniß auf die Winkel selbst beziehen.

Figur 80.

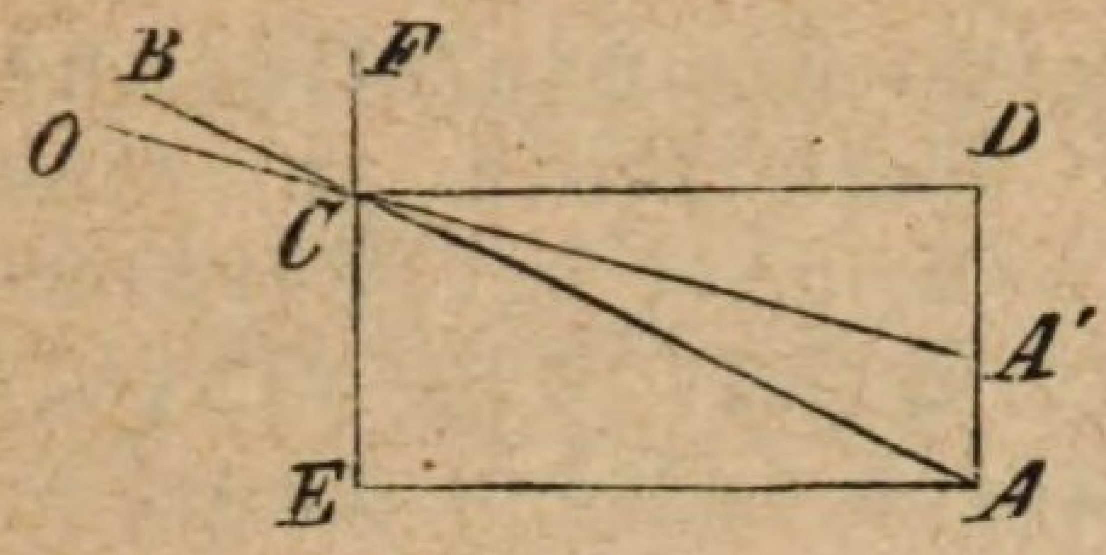


Weiß man das Brechungsverhältniß, so läßt sich durch eine einfache Konstruktion die Richtung des gebrochenen Strahles finden. Ist z. B. in Figur 80 über AB Luft, unter AB Glas, CD der einfallende Strahl, das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas 1 : $^2/_3$, so errichte man in D das Einfallsloth EK, beschreibe mit einer beliebigen Linie den Kreis um D, fälle von F den Perpendikel FG, nehme $^2/_3$ FG, bestimme den Peripheriepunkt I, dessen senkrechte Entfernung HI vom Einfallslothe $^2/_3$ FG beträgt, und verbinde I mit D, so giebt DI die Richtung des gebrochenen Strahles an. Wäre DI der einfallende Strahl, so fälle man zuerst HI, nehme darauf $^3/_2$ HI und bestimme den Peripheriepunkt F, welcher vom Einfallslothe $^3/_2$ HI entfernt ist, u. s. w.

1) Einige Brechungserscheinungen in der Natur, besonders in Wasser und Luft.

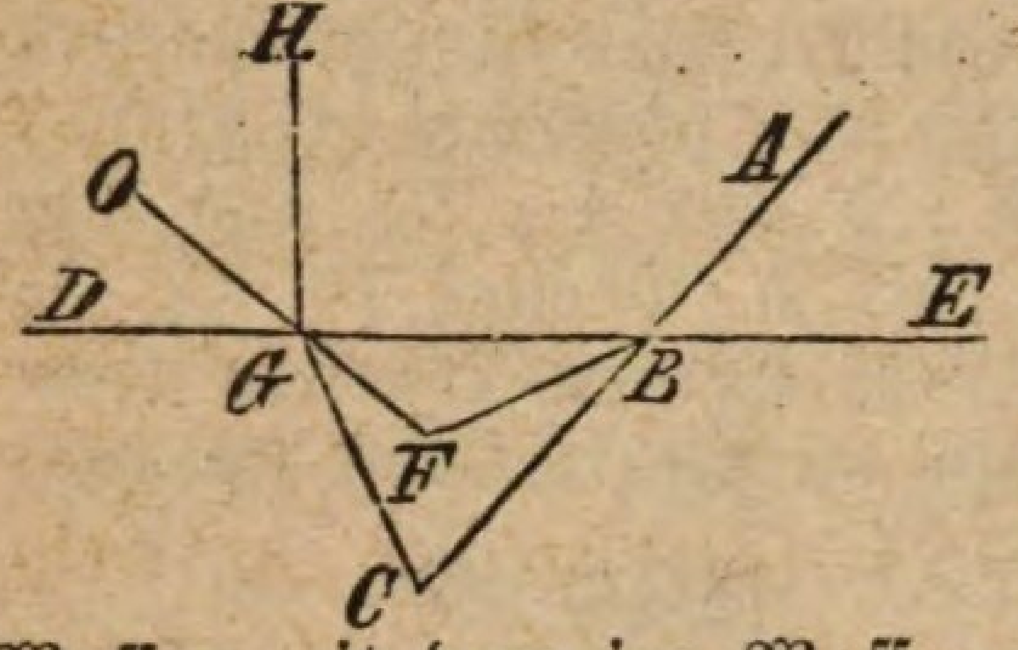
163. 1) Auf der Brechung des Lichtes beruhen unter anderen folgende Erscheinungen: Legt man ein Geldstück in eine Tasse, am zweckmäßigsten an den Rand des Bodens, tritt hierauf auf der dem Geldstücke entgegengesetzten Seite der Tasse so weit zurück, daß die Münze durch die Wand derselben bedeckt, verschwindet und gießt nun Wasser hinein, so erblickt man bei einer gewissen Höhe desselben das Geldstück wieder; es scheint, als wenn das Geldstück mit dem ganzen Boden zugleich gehoben worden wäre — ein schwimmender Fisch scheint der Oberfläche des Wassers näher zu sein, als er wirklich ist — ruhige Gewässer halten wir für weniger tief, als sie sind, indem die auf dem Boden liegenden Gegenstände der Oberfläche des Wassers scheinbar genähert werden — bei bewegter Wasseroberfläche scheinen sich auch die Gegenstände auf dem Boden zu bewegen; ein gerader Stab in geneigter Richtung zum Theil ins Wasser gebracht, erscheint gebrochen — eine mit Dinte oder Bleistift auf Papier gezogene Linie

oder auch eine ganze Zeichnung zum Theil mit einer Glasscheibe bedeckt, erscheint am Rande der Scheibe wie aus ihrer Stelle gerückt.



Figur 81.

Ist Figur 81 DCEA ein rechtwinkliges Gefäß, in A ein Silberstück, so kann es von dem Auge in O nicht gesehen werden, da der äußerste Lichtstrahl AB über dasselbe hinweggeht; wird bis CD Wasser eingegossen, so erleidet der Lichtstrahl AC bei C eine Brechung vom Einfallslothe CF abwärts und kann nun, da er hierdurch erniedrigt wird, das Auge in O treffen, welches das Silberstück in der Richtung des erhaltenen Lichteindruckes nach A' versetzt. — Ist in Figur 82 DE die Wasseroberfläche, ABC ein gerader Stab, so wird der Lichtstrahl CG in G vom Einfallslothe GH ab, nach O gebrochen, und ein Auge in O versetzt den Punkt C längs OG nach F gerade über C u. s. w., und so erscheint CB dem Auge wie FB, und der Theil des Stabes außer dem Wasser mit dem im Wasser unter dem Winkel FBA.



Figur 82.

2) Das Licht der Himmelskörper kann nicht in einer geraden Linie in unser Auge gelangen, weil die Luft von oben nach unten an Dichtigkeit zunimmt. Denken wir uns die Atmosphäre in sehr viele, äußerst dünne Schichten getheilt, so wird in ihnen ein Lichtstrahl immer zum Einfallslothe hin gebrochen, und wir erhalten als Weg solchen Lichtes eine aus sehr vielen Theilen bestehende gebrochene Linie. Da aber in keiner Schichte, wie niedrig sie auch gedacht wird, die Luft wirklich von derselben, sondern immer noch von oben nach unten von zunehmender Dichtigkeit ist, so geschieht die Brechung in einem fort, und die Bahn des Lichtes wird eine krumme Linie; aber da wir einen leuchtenden Punkt immer in die Richtung des Lichteindruckes versetzen, so sehen wir die Himmelskörper in der Tangente der Lichtkurve, deren konvexe Seite aufwärts gekehrt ist.

Irdische und astronomische Strahlenbrechung. — Die astronomische Strahlenbrechung verlängert den Tag, indem wir durch sie die Sonne schon sehen, ehe sie aufgeht, und noch sehen, nachdem sie untergegangen ist; zufolge astronomischer Berechnung geht in Nova Zembla die Sonne schon im Oktober unter und tritt erst im Februar wieder über den Horizont; aber durch die Strahlenbrechung wird diese lange Nacht doch um vier Wochen verkürzt. Die Strahlenbrechung macht, daß wir die Sterne, insbesondere die niedrig stehenden, höher über dem Horizonte glauben, als sie wirklich sind; die Erhebung der Gestirne durch die Refraktion beträgt am Horizonte über einen halben Grad, bei einer Höhe von 45° kaum eine Sekunde, und am Zenithe ist sie Null. — Die Sonne scheint bei ihrem Untergange an schwülen Sommertagen, wo die untere Luft schnell abkühlt, die obere aber ihre Temperatur wenig ändert, auf dem oberen und unteren Rande abgeplattet zu sein, so daß der horizontale Durchmesser länger als der vertikale erscheint, und zuletzt ist der untere Rand mehr als der obere abgeplattet — eine Erscheinung, die ihren Grund darin hat, daß die Brechung mit der Höhe abnimmt, die unteren Lichtpunkte also mehr als die höher liegenden gehoben werden. Aehnlich wirkt die irdische Strahlenbrechung, die Berge erhöht, die oft an Meeresufern jenseitige Gegenstände, welche gewöhnlich wegen ihrer großen Entfernung und

der Krümmung der Meeresoberfläche nicht gesehen werden, sichtbar macht: die oft bei weniger weit entfernten Gegenständen die Höhe verkleinert, z. B. ein Haus bei unveränderter Länge niedriger als sonst erscheinen läßt. Noch bemerken wir, daß die Refraktion der Atmosphäre nicht immer dieselbe ist, da ihre Dichtigkeit sich nicht immer gleich bleibt. Die Dichtigkeit in irgend einer Schichte wird abnehmen, sowohl wenn der Druck der noch über ihr ruhenden Luft abnimmt, als auch, wenn ihre eigene Temperatur zunimmt (§ 182), so wie, wenn ihre Feuchtigkeit abnimmt; daher die Größe der Refraktion vom Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstande abhängig ist. Diese Abhängigkeit genau zu kennen, ist bei Höhen-Messungen und für die Astronomie von großer Wichtigkeit.

3) Eine der merkwürdigsten Erscheinungen ist die sogenannte **Luftspiegelung**, worunter man, bald aufrecht, bald verkehrt, in der Luft schwebende Bilder entfernter Gegenstände versteht. Solche Luftbilder von Häusern, Schiffen, ganzen Dörfern, Flotten ꝛc. sind theils über, theils unter denselben beobachtet worden. Soll die Abspiegelung unterwärts stattfinden, so muß 1) die Oberfläche der Erde durch die Sonne so stark erhitzt worden sein, daß durch sie die unterste Luftschichte der Atmosphäre bedeutend wärmer, und dadurch, dem gewöhnlichen Zustande entgegen, auch dünner ist, als die Luft über ihr, was namentlich in Sandwüsten oft der Fall ist; 2) muß sich das Auge des Beobachters außerhalb, das Objekt selbst aber wenigstens zum Theile außerhalb dieser untersten Luftschicht befinden. Die Abspiegelung oberwärts dagegen setzt voraus: 1) daß die unterste Luftschicht bedeutend abgekühlt ist, während die oberen noch sehr warm sind, mithin die erstere auch bedeutend dichter als die oberen, was über Wasserflächen oft vorkommt; 2) daß das Auge und das Objekt sich innerhalb der untersten abgekühlten Luftschicht befinden. Das Objekt wird in beiden Fällen auf gewöhnliche Weise gesehen, die Bilder dagegen werden hervorgebracht durch Lichtstrahlen, welche auf die Scheidewand der dichteren und dünneren Luft unter sehr spitzen Winkeln auffallen und eine so bedeutende Brechung vom Einfallslothe erleiden, daß sie, statt in das andere Mittel einzudringen, von diesem zurückgeworfen werden, die Brechung also gleichsam in eine Zurückwerfung übergeht, welche Erscheinung die **totale Reflexion** heißt. Hierzu folgende Andeutungen: Ist in Figur 83 AB die Oberfläche der Erde, unter CD die Luft dünner als darüber, EF das Objekt, so sieht das Auge O dasselbe mittelst der innerhalb EOF liegenden Strahlen auf gewöhnliche Art; von den aus E kommenden fällt EH so sehr schief auf CD, daß durch die sehr bedeutende Ablenkung vom Einfallslothe HK der gebrochene Strahl wie HO geht, also von CD gleichsam zurückgeworfen wird. Vermöge OH sieht das Auge in E′ ein Bild von E; auf ähnliche Art machen GL und OL, daß es in G′ ein

Figur 83.

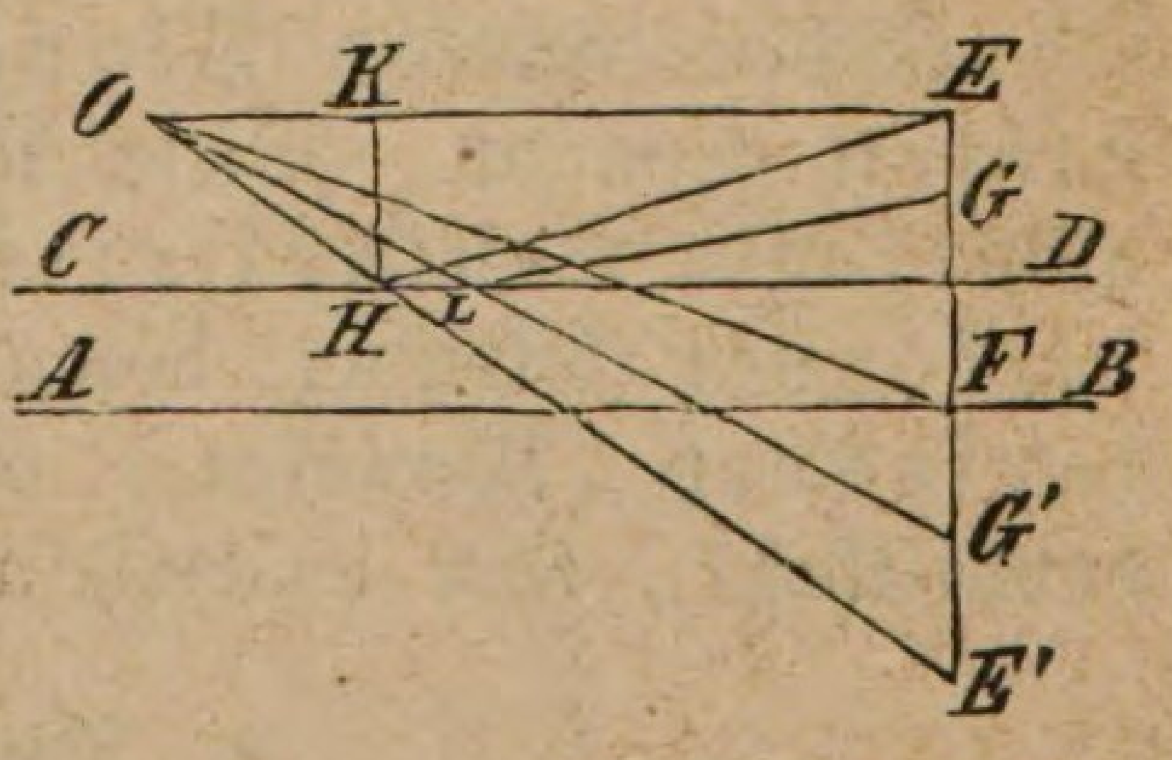
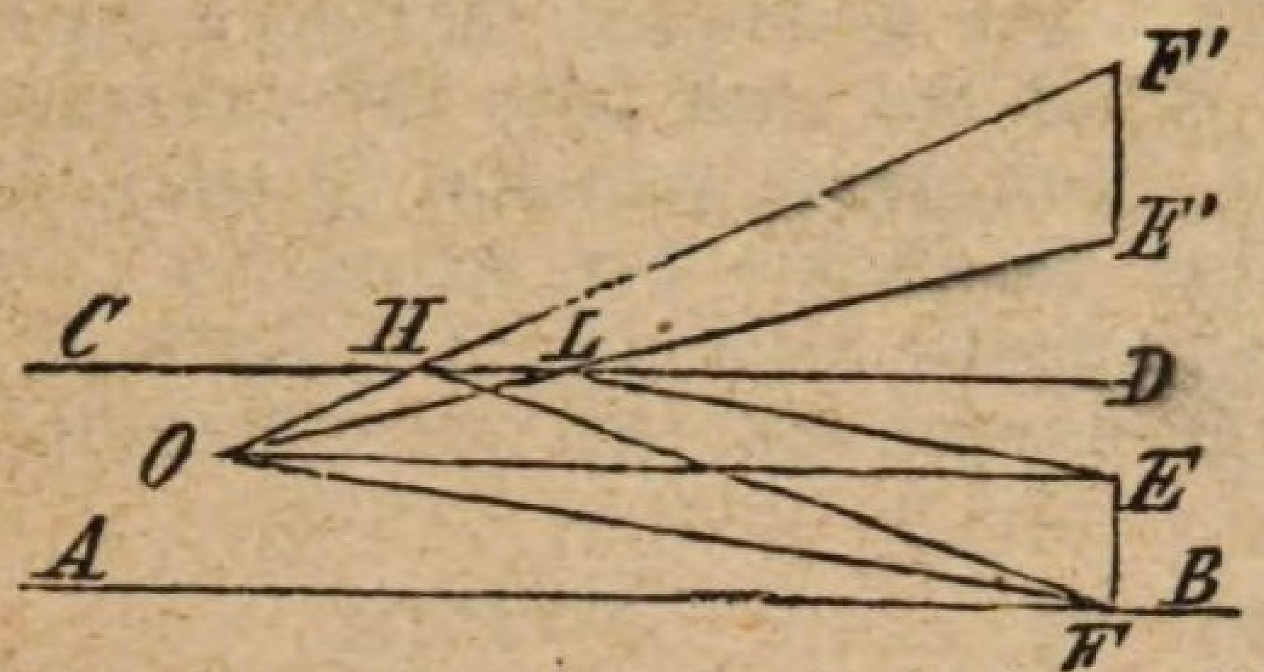


Bild von G sieht u. s. w. Ist dagegen in Figur 84 unter CD die Luft dichter als darüber, das Objekt EF sowohl, als auch das Auge O innerhalb der untersten Luftschichte, so sieht dieses das Objekt wieder durch die innerhalb EOF liegenden Strahlen, sein Bild aber mittelst der vom Objekte auf CD sehr schief auffallenden und so stark vom Einfallslothe ab, gebrochenen Strahlen, daß sie als zurückgeworfen betrachtet werden können; FH und HO bewirken, daß das Auge ein Bild von F in F′, EL und LO aber, daß es ein Bild von E in E′ u. s. w. sieht. Ist AB eine Wasseroberfläche, so hat EF ein Bild im Wasser mittelst des Wasserspiegels unter F, und dieses kann ein aufrecht stehendes Luftbild über F′E′ haben, so daß EF drei Mal gesehen wird: zuerst aufrecht, darunter verkehrt, darüber wieder aufrecht. Durch Bewegung des Wassers und der Luft erhalten die Bilder selbst Bewegung und dadurch ein zauberisches Aussehen, wie die Fata morgana an der Meerenge von Messina.

Figur 84.



Kimmung — bei der Expedition der französischen Armee 1798 nach Aegypten; in den Wüsten Arabiens. Ein leichtes Experiment über die totale Reflexion ist folgendes: Ein gewöhnliches Trinkglas wird etwa halb mit Wasser gefüllt und an der äußeren Wandung irgend wo nahe unter der Wasseroberfläche ein kleines Dreieck aus Papier mittelst Befeuchtung angeklebt, z. B. mit einer Spitze nach oben. Hält man nun das Glas vor den Augen so, daß man nach dem Dreiecke durch das Wasser nahe an seiner Oberfläche von der entgegengesetzten Seite des Glases sieht, so erscheint über dem Dreiecke sein verkehrtes Bild und man erblickt zwei Dreiecke, welche ihre Spitzen einander zukehren. Statt des Dreiecks kann man auch bequem einen Bleistift, eine Feder, ein Messer, einen Finger ꝛc. an der richtigen Stelle halten. — Bei unsern Spiegeln werden einige von der Amalgamfläche reflektirte Strahlen von der Rückseite des Glases nochmals zurückgeworfen und wieder vom Amalgam reflektirt; wodurch mehrere Spiegelbilder entstehen können, zumal wenn der Gegenstand schmal und die Strahlen recht schief auf den Spiegel fallen.

2) Brechungserscheinungen an Gläsern.

164. Die Brechung des Lichtes durch geschliffene Gläser ist vorzüglich merkwürdig. Diese Gläser sind nach der Beschaffenheit ihrer Oberflächen entweder Plangläser oder sphärische Gläser, auch Linsen genannt. Diese letzteren sind Konvexlinsen (Sammelgläser) oder Konkavlinsen (Zerstreuungsgläser); jene wieder konvexkonvex (bikonvex, doppelterhaben), oder plankonvex oder konkavkonvex (Menisken), so wie diese konkavkonkav (bikonkav, doppelthohl), oder plankonkav oder konvexkonkav.

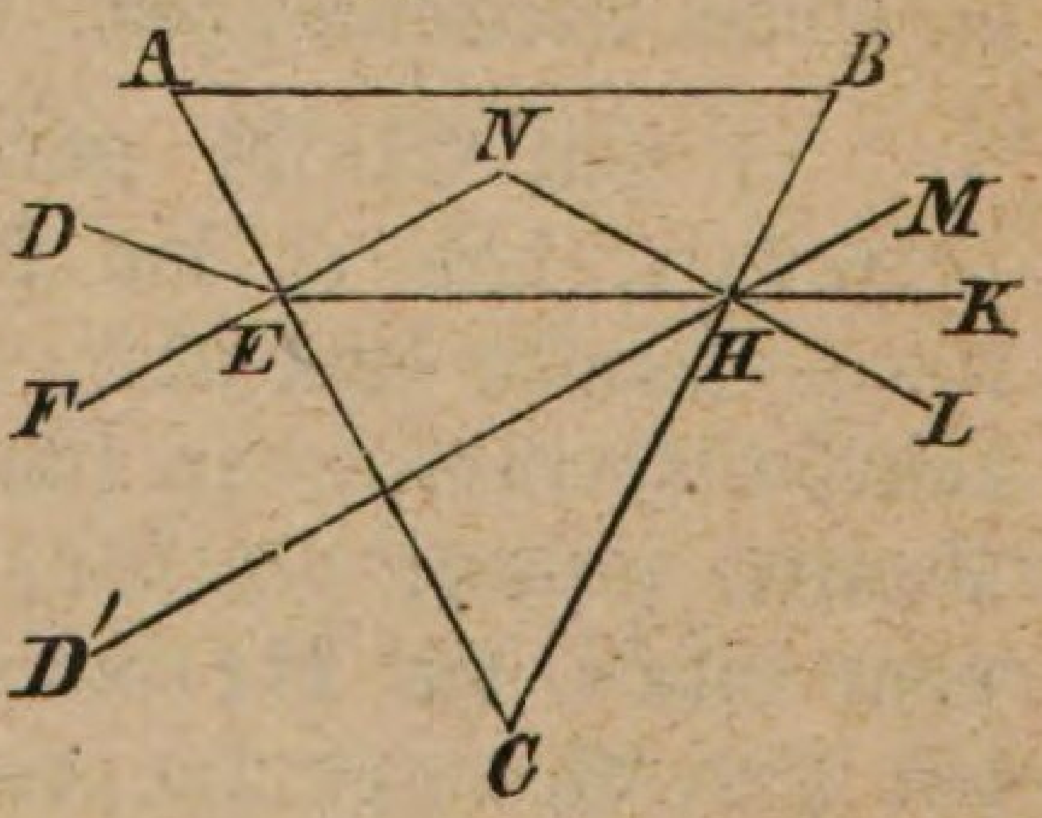
a. Von den Plangläsern.

165. 1) Bei den gewöhnlichen Plangläsern sind die Flächen eben und je zwei gegenüberliegende einander parallel. So viel der

Lichtstrahl beim Eintritt aus der Luft in das Glas zum Einfallslothe hin, eben so viel wird er beim Austritte aus dem Glase in die Luft von demselben ab gebrochen, und so müssen die beiden Theile des Strahles vor und hinter dem Glase parallel sein; deshalb treten auch auf der einen Seite parallel auffallende Strahlen auf der anderen parallel heraus, so wie konvergente konvergent und divergente divergent.

2) Durch unsere Fensterscheiben sehen wir die Gegenstände meist da, wo sie wirklich sind, weil die durch die Brechung bewirkte Ablenkung der Lichtstrahlen hier wegen der geringen Dicke des Glases unbedeutend ist; bei dicken Scheiben jedoch kann die Verrückung der Gegenstände, namentlich wenn man sehr schräge durchsieht, bemerklich werden. Eine bedeutende Verrückung der Gegenstände für das Auge findet aber statt, wenn man Gläser mit zwar ebenen, aber nicht parallelen Flächen hat; besonders belehrend ist hier das dreiseitige Glasprisma. Dieses dreiseitige Prisma ist gewöhnlich gleichseitig, d. h. so, daß wenn in Figur 85 ABC einen senkrechten Querschnitt bedeutet, dieses Dreieck gleichseitig ist. Jeder durch das Prisma gehende Lichtstrahl erleidet, wie in jedem Glase, eine doppelte Brechung und zwar beim Eintritte zum Einfallslothe hin, beim Austritte aber von demselben ab. Der Winkel, welchen die beiden brechenden Flächen, d. i. diejenigen, durch welche der Lichtstrahl geht, mit einander bilden, heißt der brechende Winkel. Hält man nun das Prisma horizontal vor den Augen mit dem brechenden Winkel nach unten, so bemerkt man an den gegenüberliegenden Gegenständen eine doppelte Erscheinung, 1) was am auffallendsten ist, aber erst später erklärt werden kann, daß die Ränder aller Gegenstände farbig sind, 2) daß wir alle Gegenstände tiefer sehen, als sie sich wirklich befinden, und zwar desto tiefer, je mehr sie sich seitwärts befinden. Man muß nämlich, um Gegenstände in gleicher Höhe mit unseren Augen durch das Prisma zu sehen, in demselben in einer unter den Gegenständen gehenden Richtung sehen; sieht man also einen Gegenstand durch das Prisma, zieht es hierauf bei unbeweglich gehaltenen Augen hinweg, so sieht man nicht nach dem Gegenstande, sondern unter ihm weg; oder sieht man einen Gegenstand an und hält hierauf vor die unbeweglich gehaltenen Augen das Prisma, so sieht man nicht mehr diesen Gegenstand, sondern höher gelegene, und muß daher, um ihn zu erblicken, die Augen senken. Die Erklärung dieser Erscheinung beruht auf der Betrachtung des Weges eines durch das Prisma gehenden Strahles. Ist in Figur 85 DE ein in E auffallender Strahl von einem dem Auge gegenüberliegenden Punkte D, so wird er in E zum Einfallslothe FN hin gebrochen, z. B. längs EH, in H erleidet er die zweite Brechung aber vom Ein=

Figur 85.



fallslothe NL ab, geht also nicht längs HK, sondern z. B. längs HM; der Strahl ist also sowohl bei E, als auch bei H aufwärts gebrochen worden. Ein Auge in M versetzt den leuchtenden Punkt D in die Richtung des Lichteindruckes HM nach D', tiefer also, als er sich wirklich befindet. Die Bilder der von D rechts und links liegenden Punkte derselben Höhe müssen tiefer als D' liegen, weil mit der Zunahme der Größe des brechenden Winkels auch die Brechung und mit ihr die Erniedrigung der Gegenstände zunimmt. Kommt nun ein Lichtstrahl in das Auge von einem nicht gegenüberliegenden, sondern seitwärts gelegenen Punkte, so geht er schief durch das Prisma, durchläuft also gleichsam einen größeren brechenden Winkel, als der des Prisma's ist, und hierdurch wird die Erniedrigung des Punktes vergrößert. Horizontale Linien, z. B. die horizontalen Fensterstäbe, erscheinen daher, durch das Prisma gesehen, als Bogen mit der konvexen Seite nach oben, so wie sich Gebäude wie im Bogen gebaut dem Auge darstellen.

Dioptrische Anamorphosen. — Polyeder oder Rautengläser.

b. Von den sphärischen Gläsern oder Linsen.

166. Unter der Achse der Linse versteht man diejenige gerade Linie, welche wir uns durch die Mittelpunkte der beiden Kugeln, von denen die Glasflächen Segmente sind (geometrische Mittelpunkte), gezogen denken. Sie geht zugleich, wenn die Linse gut gearbeitet oder richtig zentrirt ist, durch die Mitte des Glases (optischer Mittelpunkt) und steht auf beiden Flächen senkrecht. Von den zwei Flächen der Linse nennen wir diejenige die Vorderfläche oder Vorderseite, auf welche die Lichtstrahlen fallen, oder vor welcher sich ein leuchtender Punkt oder ein leuchtendes Objekt befindet; die andere, welcher gewöhnlich das Auge zugekehrt ist, heißt dagegen Hinterfläche, Hinterseite, Rückseite.

Konvexlinsen.

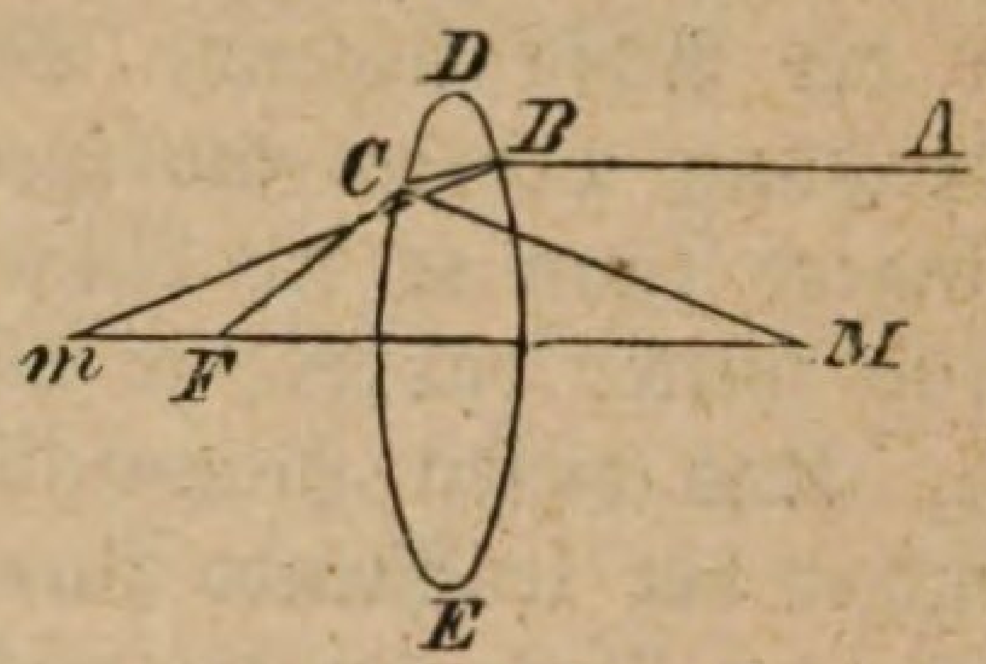
167. Alle drei Arten von Konvexlinsen geben im Allgemeinen dieselben Erscheinungen; hier werden nur bikonvexe Gläser betrachtet.

1) Ein Strahl parallel mit der Achse auffallend wird hier so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite der Linse in irgend einem Punkte schneidet, und giebt es mehrere solcher zur Achse paralleler Strahlen, so schneiden sie diese fast in einem und demselben Punkte, welcher der Brennpunkt (Fokus), so wie seine Entfernung vom Glase die Brennweite (Fokalentfernung) heißt. Jede Linse hat zwei Brennpunkte, den vorderen und den hinteren, also auch zwei Brennweiten.

Daß der parallel mit der Axe auffallende Strahl auf der anderen Seite des Glases zur Achse konvergent durch die Brechung heraustreten muß, zeigt

die Figur 86, worin DE einen senkrechten Durchschnitt [illegible]nse bezeichnet, M und m die geometrischen Mittelpunkte, AB den parallel[illegible]rahl, mB das Einfallsloth in B, zu welchem hin der Strahl wie BC gebrochen, also schon zur Achse konvergent wird, CM das Einfallsloth in C, von welchem ab der Strahl gebrochen, also zur Achse noch konvergenter wird, und sie in F schneidet.

Figur 86.



Ein Strahl konvergent mit der Achse auffallend, wird so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite des Glases in einem derselben näheren Punkte schneidet, als er sie ungebrochen schneiden würde, was sich durch eine Zeichnung leicht zeigen läßt. Die parallelen Strahlen werden also konvergent, wie die konvergenten mehr konvergent; die mit der Achse divergent auffallenden Strahlen endlich können nach der Größe der Divergenz konvergent, parallel oder weniger divergent werden. Die aus einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen sind immer divergent, und ist jener in der Achse des Glases, so sind auch alle, den Achsenstrahl ausgenommen, zu ihr selbst divergent. Wir betrachten hier, wie in der Katoptrik, zunächst leuchtende Punkte in und außerhalb der Achse, dann leuchtende Objekte; und wir werden sehen, daß es auch hier physische Bilder, Luftbilder oder objektive Bilder auf der Rückseite des Glases giebt, wenn die Strahlen durch die Brechung konvergent, dagegen geometrische oder subjektive Bilder auf der Vorderseite des Glases, wenn sie nur weniger divergent, und endlich gar keine Bilder, wenn sie parallel geworden sind.

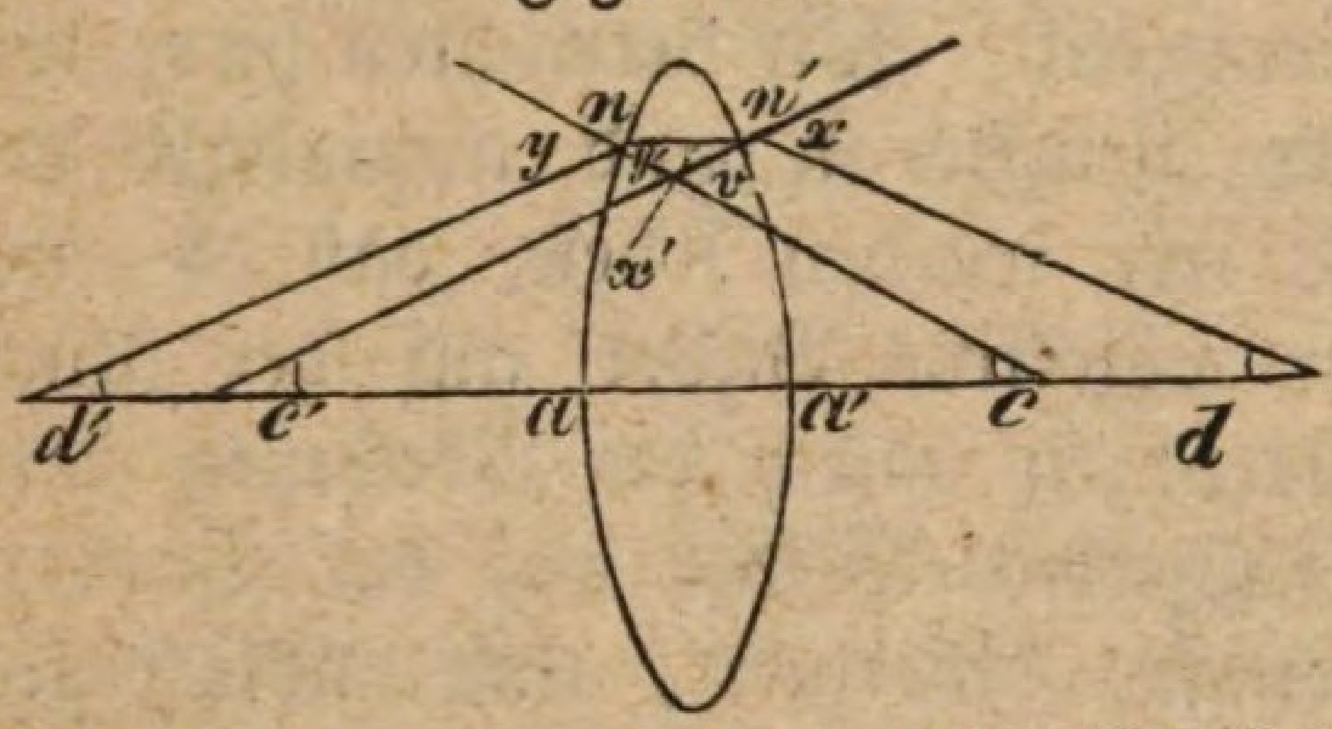
Ein längs der Achse auffallender Strahl geht ungebrochen durch, weil er senkrecht auffällt; ein aus einem außerhalb der Achse gelegenen Punkte kommender und durch den optischen Mittelpunkt gehender Strahl wird, da die Stellen um denselben auf den beiden Glasflächen als parallel betrachtet werden können, und die Dicke des Glases nicht bedeutend ist, so äußerst wenig durch die Brechung von seinem Wege abgelenkt, daß man ohne bedeutenden Fehler annehmen kann, jeder den optischen Mittelpunkt treffende Strahl gehe ungebrochen durch das Glas. Um nun die Stelle des Bildes eines leuchtenden Punktes zu finden, d. h. die Stelle der Vereinigung aller Lichtstrahlen nach der Brechung, hat man auch hier nur nöthig, den Gang zweier Lichtstrahlen zu verfolgen.

2) Ist der leuchtende Punkt auf der Achse, so stellt die Achse selbst den einen Strahl vor, und man hat nur den Punkt zu suchen, in welchem sie ein beliebiger zweiter Strahl nach seiner Brechung schneidet. Ist der leuchtende Punkt auf der Achse in unendlicher Entfernung, so macht jeder Strahl mit der Achse einen so äußerst kleinen Winkel, daß er als ihr parallel angenommen werden kann; er muß sie daher nach der Brechung im Brennpunkte der Rückseite treffen. Ist der leuchtende Punkt im Brennpunkte, so wird jeder

Strahl, d... n die Achse fällt, so gebrochen, daß er auf der Rückseite pa... zur Achse heraustritt, sie also nirgends trifft. Ist der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so fällt jeder nicht in der Achse liegende Strahl so auf die Linse, daß ihn zwar die Brechung weniger divergent, aber nicht parallel zur Achse macht; verlängert kann er die Achse nur auf der Vorderseite der Linse treffen, desto weiter davon, je näher am Brennpunkte der leuchtende Punkt ist. Aus diesen Hauptfällen ergiebt sich nun nachstehende Folgerung: Indem der leuchtende Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung bis zum Brennpunkte rückt, rückt sein Bild auf der Rückseite auf der Achse vom Brennpunkte ins Unendliche und verschwindet, indem jener den Brennpunkt erreicht; rückt nun der leuchtende Punkt weiter vom Brennpunkte bis zur Linse, so bewegt sich sein Bild auch auf der Vorderseite aus unendlicher Entfernung bis zur Linse.

Die dioptrische Hauptformel, welche alle diese Fälle in sich schließt, kann so entwickelt werden: Ist in Figur 87 d n' der auffallende Strahl, c' n' das Einfallsloth in n', zu welchem der Strahl wie n'n gebrochen wird, in n das Einfallsloth n c, von welchem ab der Strahl gebrochen wird längs n d'; bezeichnen x, x', y, y' die Einfalls- und Brechungswinkel d', c', d, c die markirten Winkel an der Achse, werden a c mit r, a' c' mit ϱ, a' d mit a und a d' und α bezeichnet, so steht, wenn man das Brechungsverhältniß n:1 aus Luft in Glas auf die Winkel, da diese sehr klein sind, bezieht:

Figur 87.



$$\left.\begin{array}{l} x : x' = n : 1 \\ y : y' = n : 1 \end{array}\right\} \begin{array}{l} \text{also } x : x' = y : y', \text{ mithin} \\ x + y : x' + y' = x : x', \text{ oder} \end{array}$$

$x + y : x' + y' = n : 1$, welche Formel durch Substitution, da $x = c' + d$ und $y = c + d'$, so wie $v = y' + x' = c' + c$ übergeht in:

$$(c + c' + d + d') : (c' + c) = n : 1$$
$$(c + c' + d + d') - (c' + c) : (n - 1) = (c' + c) : 1$$
$$(d + d') : (n - 1) = (c' + c) : 1$$
$$(n - 1)\,(c' + c) = d + d'$$
$$(n - 1)\,c' + (n - 1)\,c = d + d'.$$

Nimmt man die Bogen n'a' und n a wegen ihrer Kleinheit als auf der Achse senkrechte gerade Linien an, so ist c proportional mit $\frac{an}{ac} = \frac{an}{r}$, c' mit $\frac{a'n'}{a'c'} = \frac{a'n'}{\varrho}$, d mit $\frac{a'n'}{a'd} = \frac{a'n'}{a}$ und d' proportional mit $\frac{an}{ad'} = \frac{an}{\alpha}$ und hierdurch läßt sich diese letzte Formel so abändern:

$(n - 1)\frac{a'n'}{\varrho} + (n - 1)\frac{an}{r} = \frac{a'n'}{a} + \frac{an}{\alpha}$, und da auch $a'n' = an$ angenommen werden kann, so ist: $\frac{n-1}{\varrho} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, welches die dioptrische Hauptformel ist.

Hieraus läßt sich α entwickeln; soll die Formel für den Brennpunkt eingerichtet werden, so ist $a = \infty$ zu setzen, wodurch $\frac{1}{a} = 0$ wird und α zur Brennweite p. Ist $n : 1 = 3 : 2$, also $n = {}^3/_2$ und $n - 1 = {}^1/_2$, so geht die Hauptformel

über in $\frac{1}{2\varrho} + \frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha'}$, also $\alpha = \frac{2r\varrho a}{a(r+\varrho)-2r\varrho}$ u. wenn $r = \varrho$, ist $\alpha = \frac{ar}{a-r}$. Wird in der durch $n:1 = 3:2$ abgeänderten Hauptformel noch $a = \infty$ gesetzt, so ist:

$\frac{1}{2\varrho} + \frac{1}{2r} = \frac{1}{p}$; also $p = \frac{2r\varrho}{r+\varrho}$, und hierin $r = \varrho$ gesetzt, wird $p = r$ und

$\alpha = \frac{ar}{a-r}$, in diesem Falle auch $= \frac{ap}{a-p}$.

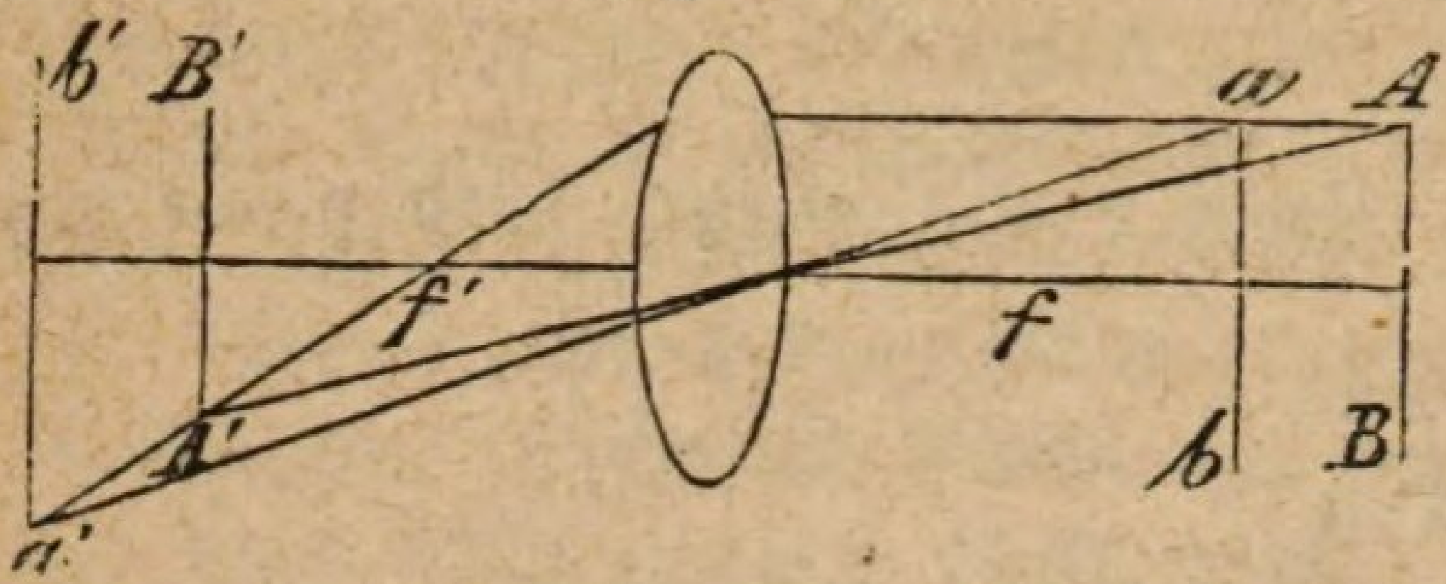
Wird das genauere Brechungsverhältniß 17:11 angenommen, so wird $p = \frac{11r}{12}$, also fast $= r$. Die Hauptformel gilt für alle Linsen, wenn nur r und ϱ bei konvexen Flächen positiv, bei konkaven negativ, bei ebenen unendlich groß gesetzt werden.

3) Ist der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so läßt sich die Stelle seines Bildes auch durch richtige Zeichnung des Ganges zweier Strahlen bestimmen. Der eine ist der durch den optischen Mittelpunkt gezogene, welcher ungebrochen durchgeht, der zweite der zur Achse parallel laufende, welcher so gebrochen wird, daß er die Achse auf der Rückseite der Linse im Brennpunkte schneidet. Der Durchschnittspunkt dieser zwei Strahlen giebt den Ort des Bildes an. Die Konstruktionsmethode zeigt auch, daß ein leuchtender Punkt über, unter und seitwärts von der Achse sein Bild wieder über, unter oder seitwärts von derselben hat, und zwar bei physischen Bildern immer entgegengesetzt liegend.

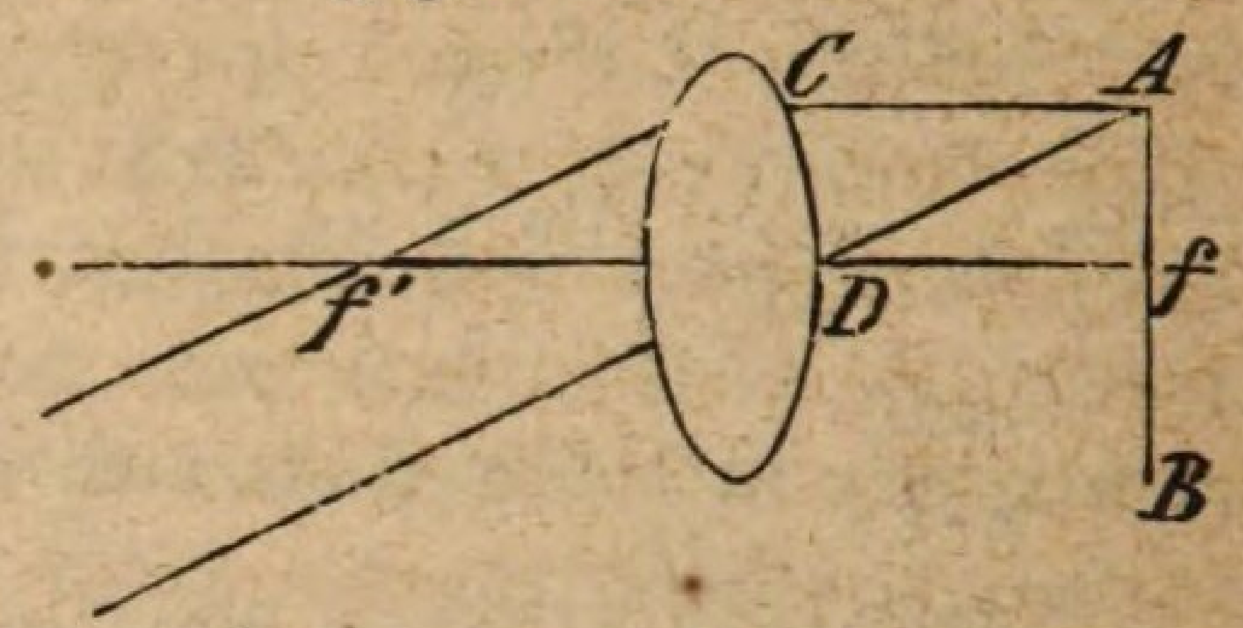
4) Hat man nun ganze Objekte, so läßt sich die Lage, Größe und Entfernung ihrer Bilder durch Bestimmung der Bilder ihrer äußersten Punkte finden; und denkt man sich die Objekte, wie in der Katoptrik, senkrecht auf die Achse, von dieser halbirt, gestellt, so ist es hinlänglich, wie dort das Bild eines Endpunktes zu bestimmen. Sind in den Fig. 88, 89 u. 90 (siehe umst.) AB, ab die Objekte, und A'B', a' b' ihre Bilder, so zeigt Figur 88, daß wenn das Objekt auf der Vorderseite außerhalb der Brennweite ist, sein Bild auf der Rückseite auch außerhalb der Brennweite ist, doch so, daß, je mehr das Objekt sich seinem Brennpunkte nähert, das Bild sich desto mehr von dem seinigen entfernt; dabei ist es physisch, verkehrt, und nimmt mit der Entfernung an Größe zu. Die Figur 89 zeigt, daß kein Bild entsteht, wenn das Objekt im Brennpunkte ist, da die beiden Strahlen des Punktes A durch die Brechung parallel werden, den CA ⌗ und = Df' (⌗ nach der Annahme, = weil wegen der unbedeutenden Dicke der Linse Df = Df' = CA gesetzt werden kann), mithin CADf' ein Parallelogramm, daher DA ⌗ Cf'. Die Figur 90 endlich zeigt, daß, wenn das Objekt innerhalb der Brennweite ist, das Bild sich auf der Vorderseite befindet, geometrisch, aufrecht und größer, aber an Größe desto kleiner, je näher das Objekt dem Glase ist. Diese Hauptfälle

geben nun folgendes Hauptresultat: Rückt das Objekt aus unendlicher Entfernung bis an die Konvexlinse, so bewegt sich sein Bild zuerst

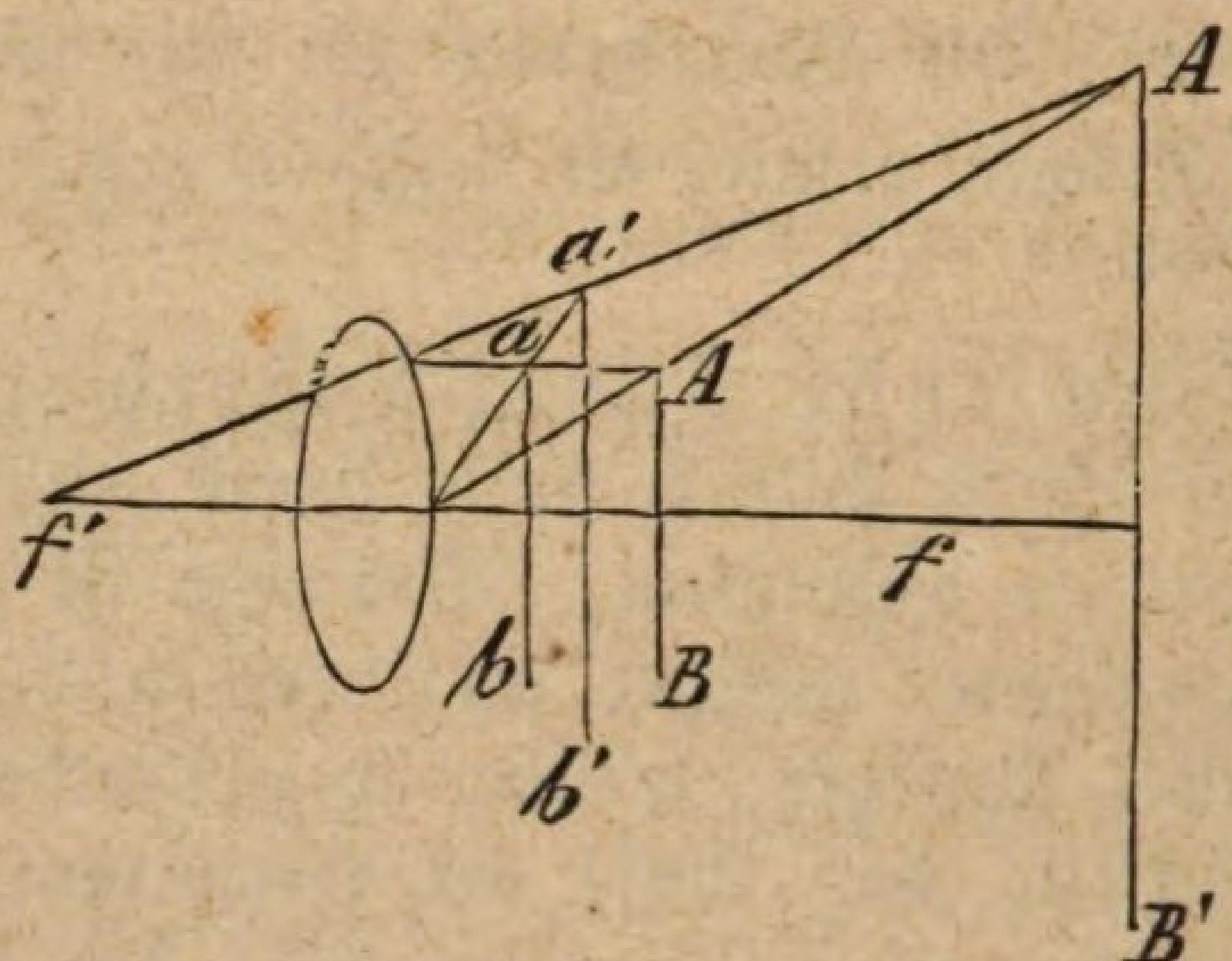
Figur 88.



Figur 89.



Figur 90.



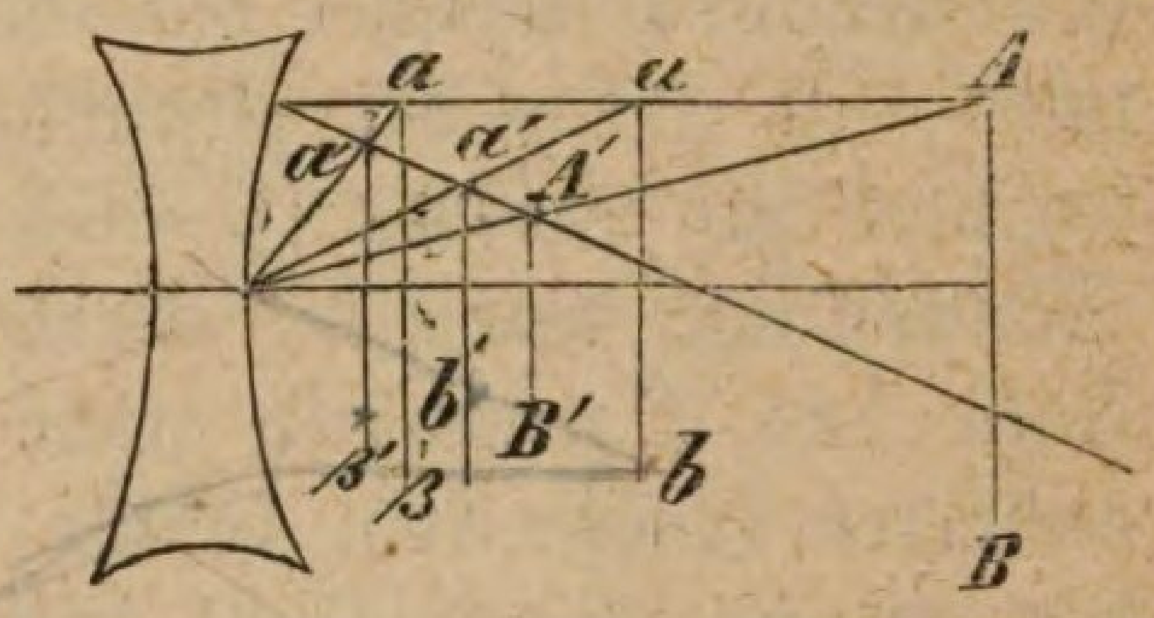
auf der Rückseite der Linse aus dem Brennpunkte bis ins Unendliche, ist physisch, verkehrt und an Größe zunehmend; darauf verschwindet es (wenn das Objekt im Brennpunkte ist) und erscheint dann auf der Vorderseite der Linse (sobald das Objekt in die Brennweite tritt), ist geometrisch, aufrecht, größer als das Objekt, nimmt aber an Größe ab, indem es sich der Linse nähert, und fällt zuletzt mit dem Objekte, ihm an Größe gleich, auf der Linse zusammen.

Konkavlinsen.

168. 1) Die drei Arten von Konkavlinsen wirken im Allgemeinen auch auf gleiche Weise. Ein mit der Achse parallel auffallender Strahl wird in einer solchen Linse sowohl beim Eintritte als beim Austritte von der Achse entfernt, wie durch Zeichnung leicht zu zeigen ist; divergirt also mit ihr, und schneidet sie mithin, rückwärts verlängert, auf der Vorderseite. *Zerstreuungspunkt, negativer Brennpunkt* oder *Fokus; negative Brennweite* oder *Fokalentfernung.* — Ein zur Achse konvergirender Strahl wird so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite des Glases in einem von derselben entfernteren Punkte schneidet, als er sie ungebrochen geschnitten hätte; konvergente Strahlen werden also weniger konvergent. Ein mit der Achse divergirender Strahl wird durch die zweimalige Brechung noch divergenter, und muß, rückwärts verlängert, die Achse auf der Vorderseite innerhalb der Brennweite schneiden. Die Konkavlinsen begünstigen also die Divergenz.

2) Indem sich ein leuchtender Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung bis zur Konkavlinse bewegt, bewegt sich sein Bild auch auf der Vorderseite aus dem negativen Brennpunkte bis dahin. Befindet sich der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so findet man den Ort seines Bildes auch durch richtige Zeichnung des Ganges zweier Strahlen, des zur Achse parallelen, welcher so gebrochen wird, daß er, rückwärts verlängert, durch den negativen Brennpunkt geht, und des durch den optischen Mittelpunkt ungebrochen gehenden. Der Durchschnittspunkt dieses Strahles mit der Rückwärtsverlängerung jenes ist der Ort des Bildes. Hat man endlich ganze Objekte, so ist hiernach die Bestimmung der Lage, Größe und Entfernung ihrer Bilder durch Zeichnung, wie Figur 91 zeigt, zu finden. Auch übersieht man leicht das Uebereinstimmende der Konkavlinsen und der Konvexspiegel hinsichtlich der Bilder.

Figur 91.



Die Konkavspiegel und die Konvexlinsen begünstigen die Konvergenz der Strahlen, daher giebt es Sammelspiegel und Sammelgläser in Bezug auf das Licht, Brennspiegel und Brenngläser in Bezug auf die mit dem Lichte verbundene Wärme. Die Konvexspiegel und die Konkavlinsen begünstigen dagegen die Divergenz der Strahlen; es giebt daher Zerstreuungsspiegel und Zerstreuungsgläser. — Schwarzes Papier entzündet sich im Brennpunkte eines Brennspiegels oder Brennglases früher, als weißes (§ 187). — Je größere Theile der Kugelflächen die Oberflächen der Linsen sind, desto weniger genau werden die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen durch sie wieder in einem Punkte vereinigt; daraus entsteht Undeutlichkeit der Bilder, die noch durch die sogenannte Farbenzerstreuung (§ 169) vermehrt wird.

3) Von der Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes.

169 a. Durch jede Brechung des Lichtes wird eine Farbenerscheinung, die Farbenzerstreuung (Dispersion des Lichtes), bewirkt, unter welcher man die Zerlegung des weißen Sonnenlichtes in einfache verschiedenfarbige Lichtgattungen versteht. Wir erhalten von dieser Erscheinung den deutlichsten Begriff durch das dreiseitige Glasprisma. Newton's Fundamentalversuche über Farben und die daraus gefolgerten Schlüsse sind, in möglichster Kürze dargestellt, folgende:

I. 1) Läßt man in ein durch Fensterladen verfinstertes Zimmer durch eine kleine Oeffnung in einem Laden Sonnenstrahlen hinein, so bildet sich auf der gegenüberstehenden Wand ein rundes, weißes, Sonnenbild ab; denn die Sonnenstrahlen, welche auf diese kleine Oeffnung gleichsam innerhalb eines Kegels fallen, dessen Grundfläche die Sonne selbst und dessen Gipfel die Oeffnung ist, kreuzen sich da, und müssen, im Zimmer innerhalb eines entgegengesetzt liegenden Kegels fortgehend, auf der gegenüberstehenden Wand ein desto größeres, rundes, weißes Sonnenbild geben, je entfernter sie ist.

2) Wird nun aber der Strahlenkegel innerhalb des dunkeln Zimmers durch ein dreiseitiges Glasprisma mit unterwärts gehaltenem brechenden Winkel (Figur 85) aufgefangen, so bemerkt man an dem Sonnenbilde auf der 10 bis 12′ entfernten Wand oder auf einem vorgehaltenen undurchsichtigen Schirme eine dreifache Veränderung, 1) es liegt höher als vorhin, 2) es ist nicht rund, sondern länglich, fast fünf Mal länger als breit, 3) es ist nicht weiß, sondern farbig, und zwar sieht man von unten nach oben zu folgende Farben allmälig in einander übergehen: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett. Die erste Erscheinung an diesem farbigen Sonnenbilde, welches das Newton'sche Farbenspektrum genannt wird, ist Folge der zweimaligen Aufwärtsbrechung eines jeden Lichtstrahles im Prisma (§ 165); aus der zweiten schließt man, daß das Sonnenlicht ungleiche Brechbarkeit habe, da ja im entgegengesetzten Falle das Sonnenbild zwar erhöht, aber doch rund und von unveränderter Größe sein müßte; aus der zweiten und dritten folgert man, das weiße Sonnenlicht werde durch die Brechung in farbige Lichtgattungen von ungleicher Brechbarkeit zerlegt, so daß das rothe Licht am schwächsten, das violette am stärksten gebrochen wird, da jenes am wenigsten, dieses am weitesten von der Stelle des weißen Sonnenbildes durch die Brechung entfernt worden ist. Auch nehmen die verschiedenen Farben ungleiche Räume ein, denn bei einer Eintheilung des Farbenbildes in 360 gleiche horizontale und mit einander parallel laufende Theile kommen auf das Rothe 45, auf das Orange 27, auf das Gelbe 48, auf das Grüne 60, auf das Blaue auch 60, auf das Indigo 40, auf das Violette aber 80 solcher Theile.

Auch wenn das Zimmer nicht verfinstert wird, zeigt sich das farbige Sonnenbild als ovaler Fleck mit den angegebenen Farben, in derselben oder in entgegengesetzter Ordnung, auf der dem Fenster entgegengesetzten Wand, hoch oder niedrig, unter Umständen auf der Decke oder dem Fußboden, je nachdem man das Sonnenlicht auf das Prisma mit dem brechenden Winkel nach oben oder unten fallen läßt. Bei diesem Experimente kann man, wenn das Licht gleichzeitig auf zwei Flächen, z. B. auf die obere und die linke fällt, leicht zwei farbige und zwei farblose Bilder beobachten, jene durch Brechung, diese durch Zurückwerfung des Lichtes entstanden. Wird der brechende Winkel nach unten gehalten, so wirken bei einem der beiden ersteren, wenn das Licht von links kommt, die linke und die rechte Prismenfläche, bei dem andern die obere und die rechte, so wie bei einem der beiden letzteren die obere, bei dem andern die linke Prismenfläche. Von jedem auffallenden Strahle wird ein Theil zurückgeworfen und der andere gebrochen, so daß zu jedem farbigen Bilde ein farbloses gehört.

3) Läßt man mittelst einer besonderen Vorrichtung an dem das Farbenspektrum auffangenden Schirme einen farbigen Strahl auf ein zweites Prisma fallen, so breitet er sich nicht wieder aus und ist also ein einfaches Licht; er wird aber abgelenkt und zwar nach der Farbe verschieden stark: am wenigsten der rothe, am meisten der violette. Newton schloß aus der Form des Farbenbildes, dessen lange Seiten, rechts und links, geradlinig, die kurzen dagegen, oben und unten, ab=

gerundet sind, daß das prismatische Farbenbild aus unendlich vielen farbigen Sonnenbildern bestehe, von denen jedes nächstfolgende aus dem vorhergehenden sehr wenig heraustrete. Diese Annahme von Farbenkreisen im Farbenspektrum bestätigen neuere Versuche. Werden Gläser, die nur bestimmt farbige Strahlen durchlassen, z. B. blaue, die nur blaues, oder rothe, die nur rothes Licht durchlassen, vor dem Prisma gehalten, so zeigen sich deutlich im Farbenbilde Kreise von der Farbe des durchgelassenen Lichtes an derjenigen Stelle, wohin diese Farbe gehört. Auf ähnliche Art läßt Lakmustinktur rothe Strahlen, einige wenige blaue und violette ausgenommen, durch. Wird nun vor das Prisma ein Glasgefäß mit parallelen Wänden, welches Lakmustinktur enthält, gehalten, so fällt auf das Prisma vorzugsweise rothes Licht, und es zeigt sich statt des länglichen farbigen Bildes nur ein rundes rothes Bild an der Stelle des Roth im Farbenspektrum.

4) Wird das Farbenbild unmittelbar hinter dem Prisma aufgefangen, so ist es in der Art verändert, daß es oben violett, unten gelbroth, in der Mitte aber weiß erscheint. Die unendlich vielen farbigen Sonnenbilder sind hier so nahe an- und ineinander gerückt, daß selbst noch die äußersten sich zum Theil decken, mithin in der Mitte alle farbigen Lichtgattungen vorkommen und das Weiße hervorbringen, dessen Raum mit der Entfernung der auffangenden Fläche vom Prisma abnehmen muß, so wie in demselben Maaße die Farben desto deutlicher hervortreten. Erreicht die auffangende Fläche endlich die Entfernung, daß das Weiße in der Mitte ganz verschwindet, so erscheint das prismatische Farbenbild vollständig.

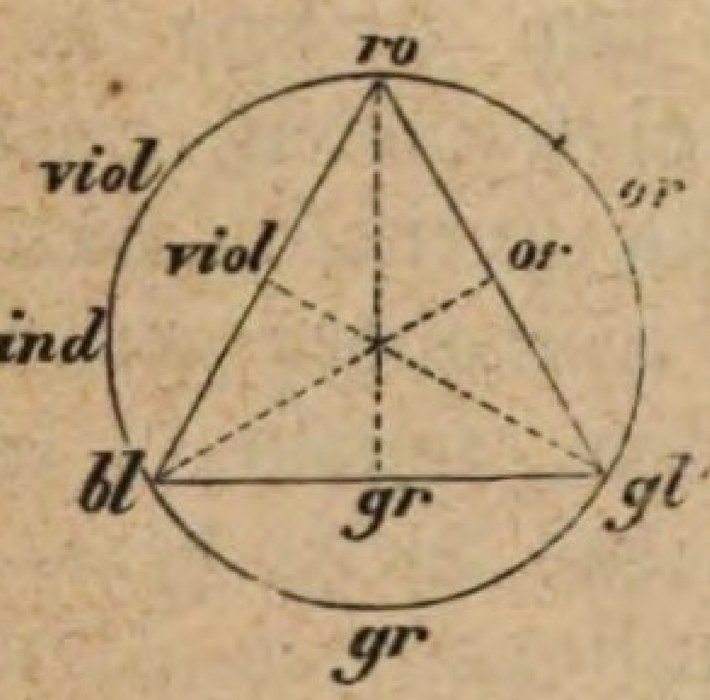
5) Läßt man das prismatische Sonnenbild auf eine Konvexlinse fallen, welche die farbigen Strahlen im Brennpunkte vereinigt, so zeigt sich auf dem im Vereinigungspunkte aufgestellten Schirme deutlich ein rundes weißes Bild (experimentum crucis); fängt man es aber hinter diesem Punkte auf, so zeigt sich ein längliches Bild, welches aber, weil sich die farbigen Strahlen in diesem Punkte kreuzten, die Farben in umgekehrter Ordnung, als im gewöhnlichen prismatischen Bilde, also oben roth und unten blau, enthält.

Aus diesen Versuchen schloß nun Newton: 1) das weiße Licht ist nicht einfach, sondern eine Mischung aus verschiedenfarbigen Lichtgattungen, so daß jeder einzelne Sonnenstrahl aus verschiedenfarbigen Lichtstrahlen besteht. 2) Diese verschiedenfarbigen Strahlen haben verschiedene Brechbarkeit; die rothen werden am schwächsten, die violetten am stärksten gebrochen. 3) So oft sich solche farbige Strahlen in demjenigen Verhältnisse, in welchem sie im Sonnenlichte gemischt vorkommen, vereinigen, bringen sie die Erscheinung des weißen Lichtes hervor.

6) Mittelst einer Glaslinse, die durch einen mit parallelen Oeffnungen versehenen Schirm so bedeckt werden kann, daß man nach Belieben zwei oder mehrere Farben auffallen und sich nach der Brechung

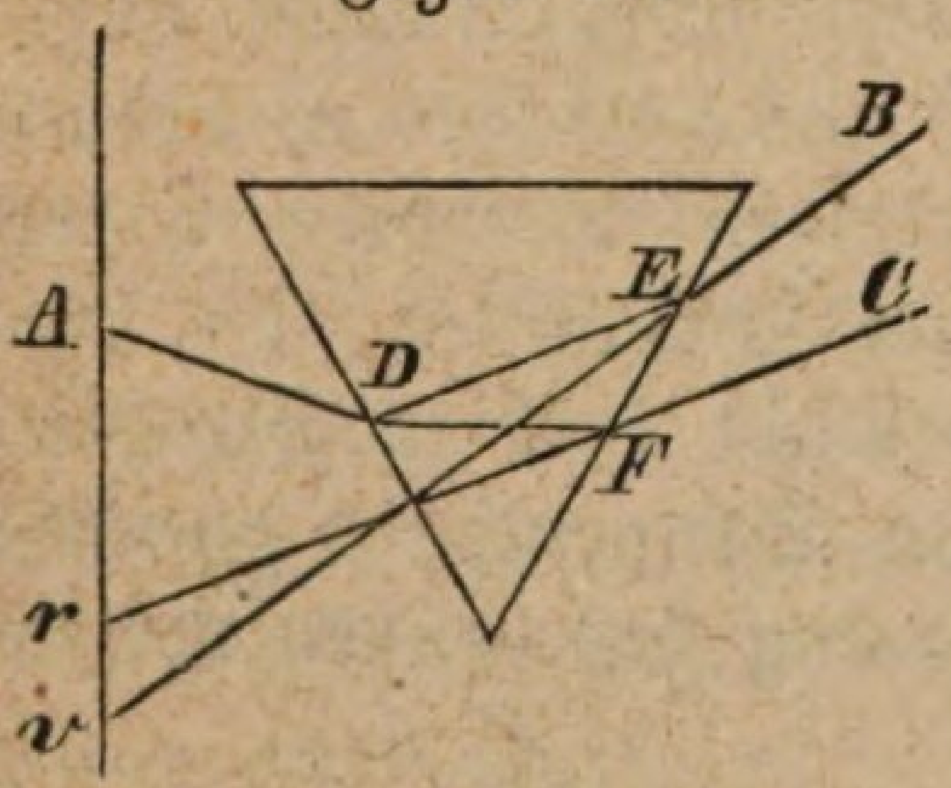
vereinigen lassen kann, erhält man Mittelfarben, z. B. Grün aus Gelb und Blau — Orange aus Roth und Gelb — Violett aus Roth und Blau. Grün erhält man aber auch durch die Vereinigung aller farbigen Strahlen mit Auslassung der rothen — Orange durch Auslassung der blauen — Violett durch Auslassung der gelben. Weil nun hiernach dem Violetten zum Weiß das Gelbe fehlt, dem Grün zum Weiß das Roth und dem Orange das Blau, so nennt man diese zum Weiß sich gegenseitig ergänzenden Farben, wie Roth und Grün, oder Orange und Blau, oder Violett und Gelb, Ergänzungsfarben, komplementäre Farben. Roth, Gelb und Blau bringen auch Weiß hervor, denn diese drei Farben sind, da Grün aus Gelb und Blau entsteht, gleich Roth und Grün — oder, da Violett aus Roth und Blau entsteht, gleich Gelb und Violett — oder endlich, da Orange aus Roth und Gelb entsteht, gleich Blau und Orange. Die hiernach entworfene Figur 92 dürfte hierbei dem Gedächtnisse einige Dienste leisten. Roth, Gelb und Blau heißen auch primäre, und Orange, Grün und Violett sekundäre Farben; jene auch Grundfarben, diese dagegen gemischte Farben. Man kann daher auch sagen: zu jeder Grundfarbe ist die aus den beiden andern Grundfarben gemischte Farbe die Ergänzungsfarbe, oder zu jeder gemischten Farbe ist die fehlende dritte Grundfarbe die Ergänzungsfarbe.

Figur 92.



Denkt man sich drei sich schneidende farbige Kreise und zwar (1) roth, (2) blau und (3) gelb, so entsteht, wo (1) und (2) zusammenfallen, Violett — wo (1) und (3) zusammenfallen, Orange — wo (2) und (3) zusammenfallen, Grün — und wo (1) und (2) und (3) zusammenfallen, Weiß. Das Auge gelangt also zur Empfindung einer bestimmten Farbe, z. B. der grünen, entweder durch Einwirkung der Strahlengattung dieser Farbe, hier also der grünen, oder durch die gleichzeitige Einwirkung zweier oder mehrerer farbiger Strahlengattungen, hier der gelben und blauen. Jenes Grün heißt einfaches, und dieses gemischtes Grün u. s. w.; jenes bleibt durch das Prisma gesehen, Grün, dieses wird in Gelb und Blau zerlegt.

Figur 93.



Eine weiße Wand erscheint violett gefleckt, wenn wir vorher anhaltend einen gelben Gegenstand, orange gefleckt, wenn wir einen blauen, und grün gefleckt, wenn wir einen rothen betrachtet haben. Zwei komplementäre Farben befriedigen das Auge mehr, als solche, die es nicht sind.

II. 1) Ist in Figur 93 A ein weißer Punkt auf schwarzem Grunde, so wird der Strahl AD in dem horizontal gehaltenen Prisma mit dem brechenden Winkel nach unten, sowohl in D als in E aufwärts gebrochen, wodurch, wie schon bekannt ist, dieser Punkt dem hinter dem Prisma sich befindenden Auge erniedrigt erscheinen muß (§ 165). Da aber die Brechung den weißen

Strahl in farbige Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zerlegt, so breitet sich AD in D in die Winkelfläche EDF so aus, daß längs DE der violette, längs DF der rothe, zwischen DE und DF die übrigen farbigen Strahlen in ihrer natürlichen Ordnung im prismatischen Bilde, fortgehen; zwischen E und F auf der andern brechenden Fläche werden die farbigen Strahlen wieder aufwärts gebrochen, jeder seinem Brechungsverhältnisse gemäß, der violette längs EB, der rothe längs FC, die übrigen dazwischen. Ein Auge in B, welches nur von violetten Strahlen getroffen würde, müßte den weißen Punkt A in v als violetten; ein Auge in C, nur von rothen Strahlen getroffen, müßte den weißen Punkt A in r als rothen Punkt sehen u. s. w., mithin wird ein Auge, von allen farbigen Strahlen getroffen, den weißen Punkt A als eine farbige, senkrechte Linie vr sehen, welche die prismatischen Farben, von unten nach oben betrachtet, in umgekehrter Ordnung enthält.

2) Geht durch A eine horizontale Linie, so muß diese auf dieselbe Art, durch das Prisma betrachtet, da jeder ihrer Punkte zu einer kleinen senkrechten, farbigen Linie wird, und ein Strahl desto stärker gebrochen wird, je schiefer er ins Prisma eindringt, als eine niedrige und konvex gebogene farbige Fläche, gleichsam als Regenbogen, mit den prismatischen Farben in umgekehrter Ordnung, erscheinen.

3) Denken wir uns eine senkrechte weiße Linie durch das horizontal gehaltene Prisma angesehen, so müssen, da jeder einzelne Punkt sein eigenes Farbenbild als eine kleine senkrechte Linie hat, diese Farbenbilder sich größtentheils bedecken, indem die mittleren und unteren Farbenstrahlen des höchsten Punktes mit den oberen und mittleren des zweiten Punktes zusammenfallen u. s. w., so daß also nur die rothen Strahlen des obersten Punktes und die blauen des untersten unvermischt ins Auge gelangen, aus der Mitte dagegen eine Mischung aller farbigen Strahlen — es muß mithin die senkrechte Linie unten blau, oben gelbroth, in der Mitte aber weiß erscheinen. Eine weiße Fläche, die wir uns hier durch Aneinanderreihen senkrechter weißer Linien entstanden denken können, erscheint daher auf schwarzem Grunde (ein Blatt weißes Papier auf schwarzer Wachsleinwand) nicht ganz farbig, sondern hat nur farbige Ränder, oben roth und gelb, unten blau und violett, während die Mitte unverändert weiß bleibt. Eine weiße Fläche auf weißem Grunde, eben so eine weiße Wand, die wieder mit weißen Wänden zusammenstößt, müssen ganz weiß erscheinen, da ja nirgends die Endfarben des als farbige Linie sich darstellenden Bildes eines Punktes für sich hervortreten können.

4) Eine schwarze Linie, eben so eine schwarze Fläche auf weißem Grunde erscheinen oben blau, unten roth — was nur eine scheinbare Umkehrung ist, indem die Farben nicht auf das Schwarze, sondern auf das Weiße über und unter dem Schwarzen zu beziehen sind; es sind hier nämlich zwei weiße Flächen durch die schwarze getrennt,

und das obere Blau der schwarzen Fläche ist nur das untere Blau der oberen weißen Fläche, so wie das untere Roth der schwarzen Fläche nur das obere Roth der unteren weißen Fläche.

5) Auch andere farbige Körper erscheinen durch das Prisma gesehen mit farbigen Säumen, weil keiner einfaches farbiges Licht ausstrahlt; sie erscheinen oben blau, unten gelb oder umgekehrt, je nachdem sie dunkler oder lichter als die Umgebung sind.

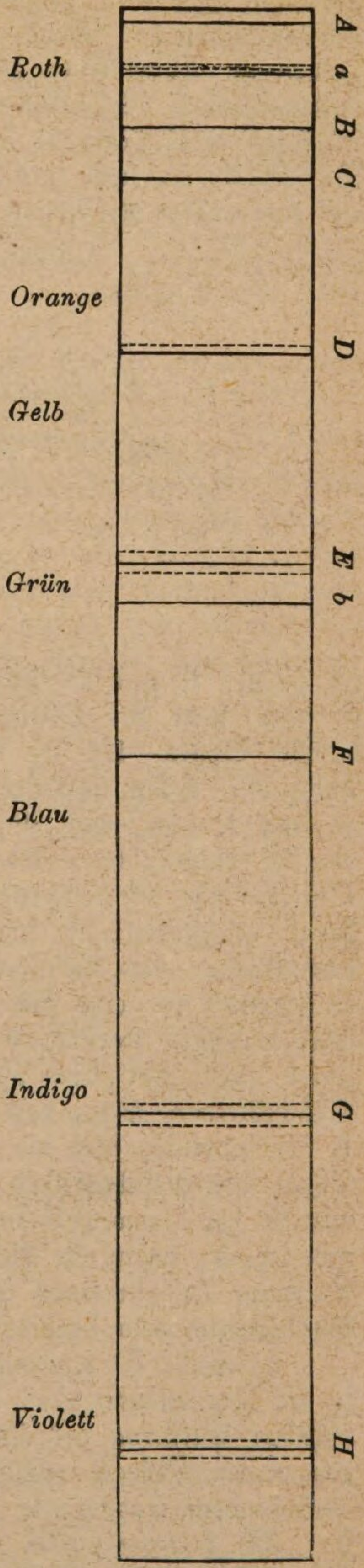
Eine Spiritusflamme, deren Docht stark mit Kochsalz eingerieben ist, ist gelb und giebt auch durch das Prisma ein entschieden gelbes Bild mit einem sehr matten violetten Bilde; auf ähnliche Art machen Lithion und Strontian die Flamme roth.

III. 1) Die bleibenden Farben der Körper erklärt Newton daraus, ob ein Körper die Fähigkeit hat, das auf ihn fallende Licht ganz, oder gar nicht, oder zum Theil zurückzuwerfen; letzteres in der Art, daß er es zersetzt und eine Art farbigen Lichtes zurückwirft, während er die andern absorbirt und ganz unwirksam macht. Hiernach wäre ein weißer Körper darum weiß, weil er alles Sonnenlicht unverändert zurückwirft, ein grüner grün, weil er nur die grünen, ein blauer blau, weil er nur die blauen Lichtstrahlen zurückwirft, alle andersfarbigen Strahlen aber absorbirt u. s. w.; ein schwarzer endlich aber schwarz, weil er gar kein Licht zurückwirft, sondern dasselbe ganz absorbirt. Es giebt aber in der Wirklichkeit keinen Körper, der gar kein oder alles, oder nur grünes, nur rothes 2c. Licht zurückwirft, sondern nur solche Körper, die sehr weniges oder fast alles, oder vorzugsweise grünes, rothes 2c. Licht zurückwerfen. Es giebt also keinen vollkommen schwarzen, vollkommen weißen, vollkommen grünen 2c. Körper. Die Farben der Körper sind mehr oder weniger zusammengesetzt (II, 5). — Auch die durchsichtigen Körper lassen entweder das Licht unzersetzt durch oder nur eine bestimmte farbige Gattung; jenes geschieht in dem sogenannten wasserhellen, dieses bei dem blauen, rothen, grünen 2c. Glase.

2) Wird ein Körper nicht von weißem Lichte, welches alle verschiedenfarbigen Strahlen in sich enthält, beleuchtet, wie in (1) angenommen wurde, sondern vom einfarbigen Lichte, so erleiden die natürlichen Farben der Körper Veränderungen. Ein weißer Körper z. B. von blauem Lichte beschienen, muß, da er alles Licht zurückwirft, auch das blaue zurückwerfen und daher blau erscheinen; eben so wird ein bei Tageslicht blauer Körper in demselben Falle unverändert blau erscheinen, da er ja eben die Eigenschaft besitzt, vorzugsweise blaue Lichtstrahlen zurückzuwerfen; der blaue Körper aber von gelben oder rothen 2c. Strahlen beleuchtet, muß schwarz erscheinen. Dasselbe gilt in ähnlicher Art von jedem bestimmtfarbigen Körper, der von einfarbigem Lichte beleuchtet wird. Hiermit hängen die sehr auffallenden Veränderungen in den lebhaften Farben der Stoffe, Blumen u. s. w. zusammen, wenn sie statt bei Tageslichte oder bei gewöhn-

lichem Kerzenlichte; bei einfarbigem Lichte, z. B. dem gelben einer Spiritusflamme, deren Docht mit Kochsalz stark eingerieben worden ist, betrachtet werden.

Farbenspindel und Farbenkreisel — Bousolt's Farbenkreisel: theilt man einen Kreis in farbige Sektoren, dem Verhältniß der Farben wie 2 entsprechend, so entsteht durch schnelle Umdrehung eine Vereinigung der Farben-Eindrücke im Auge und die Scheibe erscheint weiß, wenigstens annähernd, da die aufgetragenen Pigmente die entsprechenden Farben nicht ganz rein geben — Newton — Euler — Göthe — objektive, subjektive, physiologische und pathologische Farben — Nachbilder in Aubert, Physiologie der Netzhaut, wo auch zahlreiche Versuche und Resultate über Vereinigung von zwei und mehreren Farben.

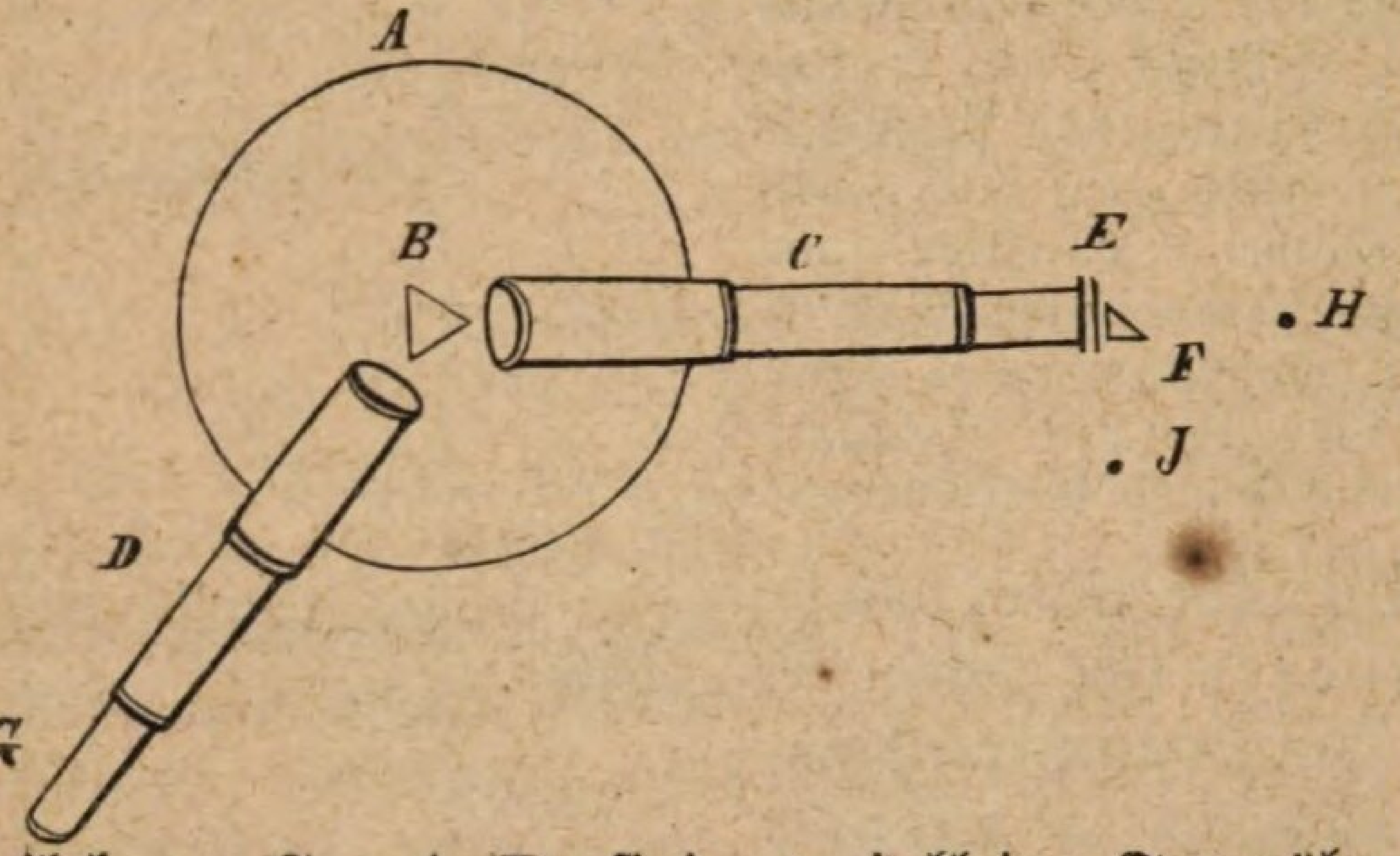


169b. I. 1) *Dunkle Spektrallinien* oder *Frauenhofer*'sche Linien im *Sonnenspektrum*. Im Sonnenspektrum, dessen Farben ganz allmälig in einander übergehen, entdeckten *Wollaston* und besonders *Frauenhofer* eine Menge dunkler Linien oder Streifen, welche dasselbe parallel mit den kürzeren Seiten unterbrechen. Sie sind verschieden breit, kommen einzeln und in Gruppen vor, aber immer an genau denselben Stellen, aus welcher durchsichtigen Materie (z. B. Kronglas, Flintglas, Wasser, Alkohol) auch immer das Prisma sein mag. Frauenhofer zählte solcher dunkler Linien an 600; die leicht erkennbaren bezeichnete er vom Rothen zum Violetten hin mit den Buchstaben A, a, B, C, D, E, b, F, G, H, von welchen im Rothen liegen A, B und C, und zwar a näher an A als an B; C an der Grenze gegen das Orange, ferner D an der Grenze von Orange und Gelb, E und b im Grünen, F im Blauen, G an der Grenze vom Indigo und Violett, und H im Violetten. Dabei sind A, C, F einfache Linien, B und D Doppellinien, a, E, b, G und H Streifengruppen. Auch die Atmosphäre veranlaßt, wenn sich die Sonne dem Horizonte nähert, dunkle Linien, die hier aber außer Betracht kommen.

2) Diese dunklen Linien, welche als Lücken in dem farbigen Sonnen-

spektrum erscheinen, dachte man sich dadurch entstanden, daß zwar die Wellenlängen der farbigen Lichtgattungen vom violetten Lichte bis zum rothen im Allgemeinen zunehmen (§ 171, 2), doch die diesen Stellen entsprechenden Wellensysteme im Sonnenlichte fehlen, weshalb sie also in Folge eines Mangels bestimmter Lichtarten dunkel erscheinen müssen. Die Spektralversuche von Kirchhoff und Bunsen (1860) haben jetzt auf eine andere Erklärung geführt. Einen einfachen Spektral-Apparat zu diesen Versuchen für Schulzwecke deutet Figur 94 an. Auf einem festen Fuß-gestelle ruht eine hölzerne Kreisscheibe A und in deren Mitte ein niedriges, senkrechtes Glasprisma B von 60° brechendem Winkel auf einem drehbaren Metallscheibchen; C und D sind zwei kleine Fernröhre, von denen C fest ist und statt der Okularlinse eine durch zwei Messingschneiden gebildete Spalte E, die sich mehr und weniger eng machen läßt, hat, vor deren unteren Hälfte ein kleines rechtwinkeliges Glasprisma F angebracht ist; D dagegen ist horizontal und senkrecht beweglich eingerichtet. Stellt man die Spalte in den Brennpunkt der Objektivlinse, die Fernröhre etwa unter 135° zu einander, wie in der Figur angegeben, so wie das Prisma B richtig, und überdeckt man das Prisma und die benachbarten Enden der Fernröhre mit schwarzer Leinwand, so zeigt sich dem in das richtig gestellte Okulare G des astronomischen Fernrohrs D hineinsehenden Beobachter des Spektrum schön und zwar aus optischen Gründen in dem unteren Theile des Gesichtsfeldes, wenn das Licht durch die obere freie Hälfte des Spaltes E hineindringt, also die Lichtquelle von H aus wirkt, in dem oberen Theile des Gesichtsfeldes dagegen, wenn das Licht durch den unteren, mittelst des Primas F bedeckten Theil der Spalte eindringt, was nur möglich ist, wenn die Lichtquelle sich seitwärts in J befindet. Durch Drehung des Prismas B läßt sich das Spektrum in seiner ganzen Ausdehnung dem beobachtenden Auge vorführen.

Figur 94.



3) Das Sonnenspektrum erscheint immer sehr schön, eben so die Frauenhofer'schen Linien bei angemessen verengter Spalte und richtiger Stellung des Okulare, sowohl bei unmittelbar als auch bei von einem Spiegel zurückgeworfenem und darauf erst in die Spalte einfallendem Tageslichte, sei es durch deren obere oder untere Hälfte.

Die Planetenspektra, namentlich die des Mars und der Venus, so wie das Mondspektrum zeigen ebenfalls dieselben dunklen Linien. Die Fixsternspektra haben zum Theil andere Linien, z. B. das des Sirius hat keine im Orange, wohl aber starke Streifen im Grünen und Blauen.

II. Die Spektra des künstlichen Lichtes von Lampen, Kerzen und Leuchtgas sind sehr schön kontinuirlich wie das Sonnenspekrum, aber ohne alle dunklen Linien. Dagegen bemerkt man nicht selten an der Stelle der Frauenhofer'schen Linie D einen röthlich=gelben Streifen, der auch eine Doppellinie ist, und von welchem bei (III) noch die Rede sein wird.

Auch ein durch die Volta'sche Säule glühend gemachter ganz reiner Platinadraht und das Drümmond'sche Kalklicht geben, wie das Licht eines jeden glühenden festen oder flüssigen Körpers, bloße kontinuirliche Spektra ohne dunkle Linien.

Belehrend ist die gleichzeitige Erzeugung der Spektra der Sonne und z. B. der Kerzenflamme in den zwei Hälften des Gesichtsfeldes im Fernrohre.

III. 1) Helle Spektrallinien oder Spektra chemischer Elemente. Werden in der nicht leuchtenden Flamme des Leuchtgases Kalium, Natrium u. s. w. verflüchtigt, so bringen die entstandenen glühenden Gase auch Spektra hervor, die aber sehr selten aus den gewöhnlichen verschiedenfarbigen Räumen vom Rothen bis zum Violetten, sondern nur aus einzelnen hellen Linien von verschiedenen Farben auf dunklem Grunde bestehen. Diese Spektra sind also diskontinuirliche oder interrupte.

Vorzügliche Dienste leistet hierbei Bunsen's Gaslampe. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Kreuzschnittbrenner, über welchen ein weiteres Rohr, unten mit vier Oeffnungen versehen, gesetzt ist und welcher mittelst eines Guttaperchaschlauches das Leuchtgas zugeführt erhält; die störende Unruhe der Flamme zu beheben, dient ein aufzusetzender, abgekürzter Blechkegel. Indem die aufgesetzte Röhre gedreht wird, kann man die Oeffnungen offen lassen oder schließen. Bei offenen Oeffnungen ist die Flamme nicht leuchtend; denn dem aus dem Brenner tretenden Leuchtgase wird so viele Luft zugeführt, daß es an der oberen Mündung nur noch schwach blau und völlig rußfrei verbrennt; bei geschlossenen Oeffnungen tritt die Luft erst oben hinzu und man erhält die gewöhnliche hellleuchtende und rußende Leuchtgasflamme. Diese leuchtende Flamme giebt ein kontinuirliches Spektrum ohne dunkle Linien; die nicht leuchtende oder dunkle Flamme giebt dagegen gar kein Spektrum, aber sie wird wegen ihrer sehr hohen Temperatur zur Verflüchtigung von Stoffen gebraucht, deren Dämpfe in Bezug auf Spektrallinien untersucht werden.

2) Mittelst des Spektralapparats und der Bunsen'schen dunklen Flamme, statt welcher auch die Flamme des Schwefels, des wasserhaltigen Alkohols, des Wasserstoffgases u. s. w. gebraucht worden sind, lassen sich folgende diskontinuirliche Spektra zeigen: Das Spektrum des Natriums ist eine gelbe Doppellinie, da wo die Frauenhofer'sche Doppellinie D liegt — des Lithiums eine schwache gelbe Linie nahe bei D nach C hin, und eine glänzende rothe zwischen C und B — des Kaliums ist kontinuirlich mit drei Linien: im äußersten Roth, wo A, eine schwache rothe, wo B, und eine violette, wo H liegt — des Strontiums eine orange Linie dicht neben D nach dem Rothen hin, sechs rothe hinter derselben nach C hin und eine blaue zwischen F und G — des Kalziums hat mehrere Linien zwischen C und E, eine intensive Linie im Grünen zwischen D und E, so wie eine

intensiv orange zwischen D und C — des Baryums enthält viele helle Linien vom Rothen bis zum Grünen, von denen zwei sehr intensiv grüne Linien den Frauenhofer'schen Linien b und E entsprechen.

Zu diesen Versuchen werden bequem die Chlorsalze, nämlich Chlornatrium, Chlorlithium u. s. w. gebraucht. Auf diese Art sind bereits die Spektra vieler anderer chemischer Elemente festgestellt. Das Spektrum des elektrischen Funkens zeigt dieselben Linien, wie die Metalle, aus welchen die Elektroden bestehen, oder mit deren Salzlösungen diese belegt worden sind. Bestimmte Linien giebt auch der elektrische Bogen zwischen Kohlenspitzen, so wie das geschichtete elektrische Licht in den Geisler'schen Röhren (§ 229). — Das Natrium ist in der Luft sehr verbreitet, daher zeigen Lampen- und Kerzenlicht, so wie auch der glühende Kalkzylinder oft die lichte Linie D, welche nach längerer Zeit verschwindet.

3) Schon die geringsten, fast unendlich kleinen Mengen der alkalischen und Erdmetalle rufen die entsprechenden Spektra hervor, und man kann aus der Beschaffenheit eines Spektrums denjenigen Körper erkennen, welcher dasselbe hervorbrachte. Hierauf gründet sich die sogenannte Spektralanalyse der Körper, die für die Chemie, z. B. in Bezug auf die Analyse der Mineralwässer, der Felsarten, von der außerordentlichsten Wichtigkeit ist, auch nothwendig zur Entdeckung neuer Stoffe führen muß, wie denn Kirchhoff und Bunsen auf diesem Wege bereits zwei neue Metalle, nämlich das Rubidium und Zäsium, entdeckt haben.

IV. 1) Zusammenhang der dunklen und lichten Spektrallinien. Der innige Zusammenhang der dunklen Linien im Sonnenspektrum und der lichten Linien in den Spektren der chemischen Elemente zeigt sich nicht blos in der häufigen übereinstimmenden Lage derselben, denn bei wenigstens 60 ist die Koinzidenz bereits nachgewiesen, sondern auch darin, daß die lichten Linien sich ohne Ortsveränderung in dunkle Linien verwandeln oder umkehren lassen, indem man eine recht intensive Lichtart, die ein kontinuirliches Spektrum ohne dunkle Linien giebt, ehe sie in den Spalt tritt, durch die, die lichten Linien verursachenden, Flammen gehen läßt. Wird vor den Spalt eine Alkoholflamme, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, gestellt, so erscheint die lichte gelbe Linie D, wird hierauf hinter dieser Flamme ein durch die Volta'sche Säule glühend gemachter Platinadraht oder ein im Knallgasgebläse in Weißglühhitze versetzter Kalkzylinder gebracht, so daß dessen Licht nur durch die Alkoholflamme, in welcher das Natrium verflüchtigt wird, nach dem Spalte gelangen kann, so sieht man die helle Linie D in die dunkle Linie D verwandelt. Geht helles Sonnenlicht, ehe es in die Spalte tritt, durch eine solche eingeschaltete Natrium-Alkoholflamme, so zeigt sich die Linie D viel dunkler, als ohne diese Einschaltung. Diese Umkehrung der hellen Linien in dunkle haben Kirchhoff und Bunsen zunächst beobachtet beim Kalium, Lithium, Natrium, Strontium, Kalzium und Baryum. Sie ziehen hieraus den Schluß: Farbige Flammen, welche helle Spektrallinien geben, schwächen und absorbiren die mit diesen Linien gleichfarbigen

Strahlen einer hinter den Flammen aufgestellten intensiven Lichtquelle, in deren kontinuirlichem Spektrum die dunklen Linien fehlen, so sehr, daß an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten.

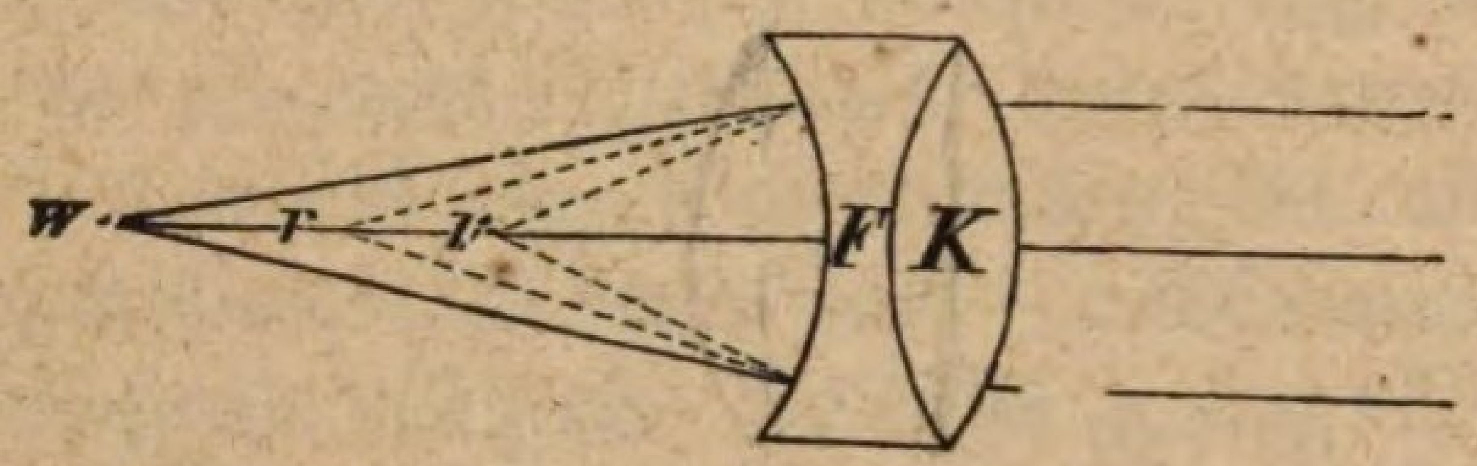
2) Auf Grund dieses Schlusses geben die beiden Physiker eine Erklärung der dunklen Linien im Sonnenspektrum. Strömt nämlich ein glühender Körper sehr helles Licht aus, welches ein kontinuirliches Spektrum ohne dunkle Linien, z. B. ohne die dunkle Linie D hervorbringt, und ist dieser Körper von einer weniger leuchtenden Atmosphäre, in welcher Natriumdämpfe vorhanden sind, umgeben, so muß nach dem Vorhergehenden in dem Spektrum dieser doppelten Lichtquelle die dunkle Doppellinie D zum Vorschein kommen. Das ist nun der Fall bei der Sonne, deren glühender Kern, welcher Aggregatsform er auch sein mag, vorzugsweise Licht ausstrahlt und eine viel höhere Temperatur hat, als ihre ebenfalls glühende Atmosphäre. Man sagt nun: Da das Sonnenspektrum die dunkle Linie D zeigt, die mit der lichten Natriumlinie D zusammenfällt, so befinden sich Natriumdämpfe in der Sonnenatmosphäre. Auf solche Untersuchungen und Schlüsse gründet sich die Angabe, daß die Sonnenatmosphäre Natrium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Chrom enthalte, daß auch Nickel sichtbar sei, so wie scheinbar kleine Mengen von Baryum und Kupfer; daß dagegen in derselben nicht vorkommen: Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Kadmium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium, Lithium.

Erklärung der Sonnenflecken. — Weitere Folgerungen in Bezug auf die physische und chemische Beschaffenheit anderer Himmelskörper aus der Untersuchung ihrer Spektra.

170. Die mit der Brechung verbundene Farbenzerstreuung macht, daß wir die Gegenstände durch Linsen undeutlich sehen. Es giebt aber zwei Glasarten, Kronglas (Kiesel, Kali) und Flintglas (Kiesel, Kali, Bleioxyd), welche das Licht fast gleich stark brechen (153 : 158), die Farben aber verschieden stark zerstreuen (2 : 3, auch 1 : 2) und aus welchen sich Prismen und Linsen so zusammensetzen lassen, daß die auf Kosten der Deutlichkeit erscheinenden farbigen Ränder ganz wegfallen und nur noch eine Brechung ohne Farbenzerstreuung stattfindet. Sie heißen deshalb farbenlose oder achromatische Prismen und Linsen. Ein achromatisches Prisma besteht aus einem Flintglasprisma und einem Kronglasprisma von einem größeren brechenden Winkel, welche so an einander gelegt sind, daß die brechenden Winkel nach entgegengesetzten Seiten liegen. Die durch sie betrachteten Gegenstände erscheinen ohne farbige Ränder, aber doch noch von ihrer Stelle und zwar in der dem Kronglase zukommenden Richtung gerückt, jedoch weniger, als es durch das Kronglasprisma allein geschehen wäre; was sich so übersehen läßt: Sind die brechenden Winkel klein, so sind die Längen der Farbenbilder nahe diesen Winkeln proportional, so daß also ein Kronglasprisma von $12^1/_2{}^0$ nur ein halb so langes Farbenbild giebt, als ein anderes

Kronglasprisma von 25°; dagegen giebt ein Flintglasprisma von $12^1/_2$° ein gleich langes Farbenbild mit dem Kronglasprisma von 25°, wenn das Flintglas zwei Mal so stark farbenzerstreuend wirkt als das Kronglas — da aber diese beiden Glasarten ein fast gleiches Brechungsvermögen haben, sich also in dieser Beziehung wie die brechenden Winkel verhalten, so wird das Flintglasprisma von $12^1/_2$° die Ablenkung des Kronglasprismas von 25° etwa zur Hälfte aufheben. Eine achromatische Linse besteht gewöhnlich aus einer Konvexlinse von Kronglas und einer Konkavlinse von Flintglas; es giebt aber auch solche, die aus zwei konvexen Kronglaslinsen und einer konkaven Flintglaslinse zwischen ihnen zusammengesetzt sind. Im ersten Falle würden in Figur 95 durch die Konvexlinse aus Kronglas die am meisten brechbaren violetten Strahlen in v, die am wenigsten brechbaren rothen in r, die übrigen in der bekannten Ordnung zwischen v und r, vereinigt werden. Die Konkavlinse aus Flintglas aber, welche die erhaltenen konvergenten Strahlen weniger konvergent macht, rückt die Vereinigung jeder Gattung farbiger Strahlen weiter von der Doppellinse und da diese Weiterrückung bei stärker brechenden Strahlen mehr als bei schwächer brechenden beträgt, bei den violetten also am größten und bei den rothen am kleinsten ist, so läßt sich den beiden Linsen eine solche Krümmung geben, daß die Vereinigungspunkte in denselben Punkt w fallen und hier also weißes Licht entsteht.

Figur 95.



Achromasie — Achromatische Fernröhre — Dollond (1757), Frauenhofer (1810). Linsen mit eingeschlossener Flüssigkeit, z. B. Schwefelkohlenstoff. Blair und Barlow. Eine aplanatische Linse besteht aus zwei Linsen von solcher Krümmung, daß nicht nur die Farbenzerstreuung, sondern auch die sogenannte Abweichung wegen der Kugelgestalt beseitigt wird.

4) Von der Interferenz, Beugung, Polarisation und doppelten Brechung des Lichtes.

171. 1) Interferenz des Lichtes bezeichnet das Zusammentreffen von Lichtstrahlen, die sich in ihren Wirkungen nach Umständen verstärken oder schwächen oder auch ganz vernichten. Licht, mit Licht zusammenkommend, erzeugt zuweilen größere Helligkeit, zuweilen aber auch völlige Dunkelheit. Zwei Lichtstrahlen aus derselben Lichtquelle so kommend, daß sie sich einander, fast parallel, unter einem sehr kleinen Winkel durchschneiden, bringen in gewissen Fällen diese Erscheinungen hervor. Leitet man nach Grimaldi (1665) in das dunkle Zimmer durch zwei neben einander liegende kleine runde Oeffnungen Sonnenstrahlen, so entstehen auf einem zweckmäßig aufgestellten weißen Schirme zwei runde Sonnenbilder. Durch Verschiebung des

Schirmes ist leicht diejenige Stelle zu finden, wo diese zwei Bilder theilweise auf einander fallen. Der gemeinschaftliche Theil dieser Bilder ist zwar heller, als die nicht gemeinschaftlichen Theile, aber an den Rändern des helleren Theiles befinden sich abwechselnd dunklere und hellere Streifen, welche bei Schließung der einen Oeffnung verschwinden. Die dunklen Stellen erhielten aber eben so das Licht durch beide Oeffnungen wie die hellen. Ob eine Aufhebung oder Verstärkung der Erleuchtung stattfindet, hängt nach der Undulationstheorie ab von der Größe der Wege der Lichtstrahlen bis zum Zusammentreffen. Die Erleuchtung verschwindet, wenn sich die Wege um eine halbe Wellenlänge oder um das 3-, 5-, 7- 2c. fache derselben unterscheiden; sie wird aber erhöht, wenn die Wege ganz gleich sind, oder sich um das 2-, 4-, 6- 2c. fache der halben Wellenlänge oder um das 1-, 2-, 3-, 4- 2c. fache der ganzen Wellenlänge unterscheiden, weil dort die verdichteten Wellentheile mit den verdünnten zusammenfallen, hier aber die verdichteten mit den verdichteten, so wie die verdünnten mit den verdünnten, ganz übereinstimmend mit den ähnlichen Erscheinungen bei den Wasser- und Schallwellen. (§ 144.) Die Wellenlänge ist für die verschiedenfarbigen Strahlen verschieden, doch unwandelbar dieselbe für die gleichfarbigen.

Grimaldi, Young (1800), Fresnel (1815), Frauenhofer, Schwerdt — Interferenzprisma — Newton'sche Farbenringe. — Die Farben dünner, durchsichtiger Blättchen, der Seifenblasen 2c. entstehen durch die Interferenz der von der Vorder- und Hinterfläche der dünnen Schicht zurückgeworfenen Lichtwellen. — Nach der Emissionstheorie sind die Interferenz-Erscheinungen gar nicht zu erklären, da, wenn Licht eine Materie wäre, unmöglich Dunkelheit entstehen könnte, indem Licht zu Licht kommt. — Newton legte ein Konvexglas von 51 engl. Fuß Krümmungshalbmesser auf eine ebene Glasscheibe und beobachtete, daß wenn man die Linse mehr oder weniger stark andrückte, sich um den schwarzen Berührungspunkt kreisförmige Ringe zeigten: blau, weiß, gelb, roth — violet, blau, grün, gelb, roth — grünlichblau, blaßroth — grünlichblau, röthlichweiß.

2) **Beugung** des Lichtes (Inflexion, Diffraktion) bezeichnet die Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrem geraden Wege beim Vorübergehen an dunklen festen Körpern, daher auch beim Durchgange durch sehr kleine runde oder sehr schmale längliche Oeffnungen an deren Rändern, wodurch nicht nur Lichtstrahlen in den Schattenraum gelangen, sondern auch wegen ungleich starker Beugung farbiger Strahlen am Schatten Farbenränder, so wie in demselben farbige Streifen entstehen. Die Beugung des Lichtes ist auf das Gesetz der Interferenz zurückführbar.

Eine schwarze Kugel, in die Sonne gehangen, zeigt innerhalb des Schattenkegels Erleuchtung. — Ein schmaler Körper (Messerklinge) vor einer etwas weniger breiten Flamme so gehalten, daß diese bedeckt wird, und nur mit einem Auge angesehen, zeigt an den Rändern lichte Streifen, deren Helligkeit mit der abnehmenden Breite des Körpers zunimmt; es kommen also in das Auge, welches sich mitten im Schatten befindet, Lichtstrahlen durch die Beugung. — Sehr interessant sind Beugungsversuche im dunklen Zimmer. Zwei Metallplatten, die in Schärfen ausgehen und einander nach Belieben parallel oder sehr geneigt

genähert werden können, bewirken auf einem weißen Schirme oder einer matt=geschliffenen Glastafel einen hellen Streifen mit regenbogenfarbigen Rändern zu beiden Seiten, in denen dem Schatten am nächsten sich Violett, am entferntesten aber Roth befindet. Der Schatten sehr schmaler Körper hat nicht nur farbige Ränder, sondern auch im Innern abwechselnd dunkle und farbige Streifen. — Eben so merkwürdig ist die Beugung des Lichtes bei neben einander liegenden Zwischenräumen. Wird bei fast geschlossenem Auge durch die einander genäherten Augenwimpern oder durch den Bart einer Feder, durch die Haare eines Hutes eine Lichtflamme angesehen, so zeigt sich zu beiden Seiten der Flamme ein farbiges Bild derselben, weiter aber farbige Bilder, bei denen immer das Violett der Lichtflamme zugekehrt ist. Eine gleiche Erscheinung giebt es, wenn durch ein Florband gesehen wird, so wie nach Frauenhofer Glasgitter, d. i. Glas, auf welches sehr nahe liegende parallele Linien mittelst eines Diamanten eingeritzt, oder, wenn dasselbe zuerst mit Gold belegt wurde, mittelst einer Nadel einradirt wurden, förmliche Schweife von Farbenbildern zeigen. — Auch bei der Zurückwerfung des Lichtes zeigen sich solche Farbenerscheinungen, z. B. an Haaren, Spinnweben, an Spiegeln, in welchen kleine parallele Linien eingeritzt werden, so wie an der Perlmutter, deren Oberfläche mit sehr vielen außerordentlich feinen Furchen durchzogen ist. — Der Jesuit Grimaldi hat 1665 zuerst die Beugung beobachtet.

Aus der genauen Messung der Beugungserscheinungen glaubt man die Längen der Lichtwellen für die verschiedenfarbigen Strahlen ungefähr so angeben zu können:

Mittleres Roth	0,0000248 Zoll,	Blau	0,0000168 Zoll,
Orange	0,0000217 —	Indigo	0,0000156 —
Gelb	0,0000201 —	Violett	0,0000145 —
Grün	0,0000184 —		

woraus sich auch die Zahl der Schwingungen in der Sekunde bestimmen läßt, da man weiß, daß bei jeder Schwingung der Lichtstrahl um eine Wellenlänge fortschreitet und daß die Geschwindigkeit des Lichtes etwa 42000 Meilen beträgt. In diesen für alle Lichtstrahlen ohne Unterschied unveränderlich geltenden Weg in einer Sekunde braucht man nur mit der betreffenden Wellenlänge zu dividiren, um die Zahl der Schwingungen in der Sekunde zu erhalten (vergl. § 144, 3); so erhält man für das rothe Licht 477 und für das violette 699 Billionen Schwingungen in der Sekunde.

172. 1) Wenn ein Lichtstrahl auf eine unbelegte durchsichtige Tafel fällt, so theilt er sich in der Art, daß ein Theil durch die Tafel geht und nach gewöhnlichen Gesetzen gebrochen, der andere aber von ihr ebenfalls nach gewöhnlichen Gesetzen zurückgeworfen wird. Wird aber nun sowohl der gebrochene als zurückgeworfene Strahl durch eine zweite der ersten parallele Tafel aufgefangen, so wird er von dieser nicht mehr in allen ihren Lagen unverändert zurückgeworfen, wie es sein müßte, wenn er noch ein gewöhnlicher Lichtstrahl wäre, sondern er wird nur in gewissen Lagen derselben, und zwar mit verschiedener Stärke zurückgeworfen, in gewissen anderen dagegen gar nicht. Beim Glase ist die Wirkung am stärksten, wenn der ursprüngliche Lichtstrahl gegen das Glas unter einem Winkel von 35° 25′, also gegen das Einfallsloth unter 54° 35′ auffällt, beim Wasser bei 37° 15′, bei einer Diamantfläche bei 22°. Diese Veränderung in dem Verhalten des Lichtes heißt Polarisation des Lichtes (Polarisirung durch Zurückstrahlung, Polarisirung durch Brechung), und das Licht selbst, welches sie erleidet, polarisirtes Licht, so wie der Winkel, unter dem das Licht auffallen muß, damit die Erschei=

nung am stärksten hervortrete, der **Polarisationswinkel**. — **Malus**, Paris 1808.

2) Fällt von irgend einem leuchtenden oder beleuchteten Gegenstande, z. B. von einer Lichtflamme, von einem vorgehaltenen Schlüssel oder auch nur von dem von den Wolken reflektirten Tageslichte ein Lichtstrahl auf eine Platte von Spiegelglas — Polarisationsspiegel —, deren Hinterseite geschwärzt ist, damit sie nicht abspiegle, unter dem Polarisationswinkel von 35° 25′, so wird er nach dem katoptrischen Gesetze auch unter diesem Winkel zurückgeworfen, trifft eine zweite Spiegelplatte — Zerlegungsspiegel —, die zur ersteren parallel gestellt ist, nach geometrischen Gründen abermals unter demselben Winkel, und muß mithin auch von ihr unter 35° 25′ zurückgeworfen werden. Wird nun der Zerlegungsspiegel um den auffallenden Strahl, bei unveränderter Neigung zu einander, gedreht, so bemerkt man an dem von ihm bewirkten Bilde der Lichtflamme, des Schlüssels oder an seinem Gesichtsfelde überhaupt eine regelmäßig wiederkehrende Abnahme und Zunahme der Lichtintensität — und zwar zeigt sich während einer ganzen Umdrehung zuerst eine Abnahme der Lichtstärke von der ursprünglichen Helligkeit bis zum Verschwinden derselben, dann eine Zunahme bis zur ursprünglichen Helligkeit, dann wieder eine Abnahme und endlich wieder eine Zunahme in der früheren Art, was nur eine Folge davon sein kann, daß indem der zurückgeworfene Theil des polarisirten Strahles größer, der durchgelassene kleiner wird, und umgekehrt. Das Maximum der Helligkeit in Folge der vollständigsten Zurückwerfung und der schwächsten Durchlassung des polarisirten Lichtstrahles zeigt sich außer bei der parallelen Lage der beiden Spiegel nach einer Drehung des Zerlegungsspiegels von 180° — also bei 0° und 180° — oder da, wo die Reflexionsebenen beider Spiegel zusammenfallen; das Minimum der Helligkeit oder das Maximum der Dunkelheit oder das Verschwinden des Bildes in Folge der schwächsten Zurückwerfung und der vollständigen Durchlassung sieht man dagegen nach den Drehungen von 90° und 270°, oder da, wo die beiden Reflexionsebenen sich rechtwinkelig kreuzen. Der gebrochene Theil des auffallenden Strahles zeigt, von einer zweiten Tafel aufgefangen, ähnliche Erscheinungen bei der Zurückwerfung, nur daß die Maxima und Minima gerade in den entgegengesetzten Lagen erscheinen.

Unter der **Polarisationsebene** versteht man diejenige Ebene, welche durch den polarisirten Lichtstrahl in derjenigen Richtung, in welcher er am vollständigsten zurückgeworfen wird, gelegt gedacht wird. Die Polarisationsebene des durch Reflexion und des durch Refraktion polarisirten Lichtstrahles stehen also, da jene durch 0° und 180°, diese durch 90° und 270° der Kreistheilung geht, auf einander senkrecht.

Das Polarisations-Instrument von **Nörrenberg** enthält auf dem Boden des Gestelles einen gewöhnlichen Glasspiegel, darüber den Polarisationsspiegel

aus geschliffenem Spiegelglase, um eine horizontale Achse drehbar, und noch höher über demselben den auf der einen Seite geschwärzten Zerlegungsspiegel, ebenfalls um eine horizontale Achse drehbar, welche in Säulchen ruht, die sich in horizontaler Ebene drehen lassen. Zwischen dem Polarisations- und Zerlegungsspiegel befindet sich noch ein Ring, in welchen eine Glastafel paßt, auf welche diejenigen durchsichtigen Körper gelegt werden, durch welche das polarisirte Licht durchgeleitet werden soll, und deshalb Tischchen heißt. Werden die beiden Spiegel unter 35° 25′ zur Vertikale und unter einander parallel gestellt, so wird von jedem auf den Polarisationsspiegel auffallenden Strahl ein Theil senkrecht auf den unteren gewöhnlichen Glasspiegel reflektirt und von diesem senkrecht herauf nach dem Zerlegungsspiegel, dem durch Drehung der oberen Säulchen die verschiedenen Lagen gegeben werden können.

Wird durch ein Turmalinplättchen, welches aus einem Turmalinkrystalle so geschnitten ist, daß seine Hauptflächen mit der Achse der Säule parallel sind, eine polirte Tischfläche, welche das Tageslicht unter 30—40° nach dem Auge wirft, betrachtet, so erscheint die Tischfläche bei der Drehung der Turmalinplatte abwechselnd hell und dunkel; Tischfläche und Turmalinplatte stellen also einen Polarisationsapparat vor und es läßt sich mithin auch die Turmalinplatte statt des Zerlegungsspiegels beim Polarisationsinstrument gebrauchen. Wie die Tischfläche polarisiren alle spiegelnden Flächen, mit Ausnahme der metallischen, das Licht.

Fällt gewöhnliches Licht senkrecht auf eine solche Turmalinplatte, deren Flächen parallel zur Hauptaxe des Krystalles sind, so zeigt es sich nach seinem Durchgange auch polarisirt; denn eine zweite Turmalinplatte auf diese gelegt und während des Durchsehens gedreht, zeigt den Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit, je nachdem die Achsen der Platten einander parallel sind oder sich kreuzen. Zwei solche Turmalinplatten sind in der sogenannten Turmalinzange vereinigt, welche also als ein kleiner Polarisationsapparat, auf der Polarisation durch Brechung beruhend, zu betrachten ist.

173. 1) Im Doppelspath (isländischen Spath, krystallisirten Kalkspath, krystallisirten kohlensauren Kalk) und in mehreren anderen Krystallen findet unter gewissen Umständen eine doppelte Strahlenbrechung statt. Man nimmt an, daß jeder durch einen solchen Körper gehende Strahl gleichsam in zwei Theile gespalten werde, von denen der eine, der stärker gebrochene, nach gewöhnlichen, der andere aber, der schwächer gebrochene, nach ungewöhnlichen Gesetzen gebrochen wird, beide aber, aus dem Krystalle parallel heraustretend, ins Auge gelangen, und einen Lichtpunkt, ein Objekt doppelt erscheinen lassen. Der Doppelspath kommt als Rhomboeder krystallisirt vor, begrenzt von sechs Rhomben, von denen je zwei einander parallel sind, und in denen jeder spitze Winkel 78° 5′, jeder stumpfe dagegen 101° 55′ beträgt. Unter seinen acht dreikantigen Ecken giebt es zwei einander gegenüberliegende, von denen jede von Winkeln zu 101° 55′ begrenzt wird, während die übrigen sechs immer zwei spitze und einen stumpfen Winkel haben. Die gerade Linie, welche diese beiden stumpfen Ecken verbindet, heißt die Brechungs- oder Hauptachse, auch optische Achse, und die durch sie gelegte auf zwei begrenzenden Rhomben senkrecht stehende Ebene der Hauptschnitt des Krystalls. Unter brechenden Flächen versteht man hier, wie beim Glasprisma, die zwei Flächen, durch deren eine ein Strahl in den Krystall, und durch deren andere er aus demselben tritt. Man hat für den Fall,

daß sich das Auge senkrecht über dem Objekte befindet, folgendes Gesetz gefunden: Eine Zerspaltung des durch den Krystall gehenden Strahles oder eine doppelte Strahlenbrechung giebt es nur dann, wenn die Brechungsachse mit den brechenden Flächen, also auch die Brechungsachse mit dem einfallenden Strahle, einen schiefen Winkel bildet, nie aber, wenn die Brechungsachse mit den brechenden Flächen parallel, also der einfallende Strahl auf der Brechungsachse senkrecht, oder wenn die Brechungsachse auf den brechenden Flächen senkrecht, also die Brechungsachse mit dem einfallenden Strahle parallel ist. Sobald in den beiden letzten Fällen, zu denen die Krystalle erst künstlich geschnitten werden müssen, das Auge nicht senkrecht über dem Objekte liegt, sondern seitwärts von demselben, so werden auch zwei Bilder sichtbar, weil dann der einfallende Strahl weder auf der Brechungsachse senkrecht, noch ihr parallel ist.

Die beiden Bilder, welche man durch ein Kalkspathprisma sieht, beruhen auf polarisirtem Lichte, denn durch eine in Drehung gesetzte Turmalinplatte betrachtet, verschwinden und erscheinen sie und zwar abwechselnd, was ein Beweis ist, daß ihre Polarisationsebenen sich senkrecht schneiden.

Versuch mit einem Kalkspathkrystalle, welcher über einen mit Dinte auf ein Blatt Papier gemachten Punkt oder über eine gezogene Linie gelegt und gedreht wird. Verhalten des Lichtstrahles, wenn mehrere Rhomboeder über einander gelegt werden. — Krystalle mit zwei Achsen doppelter Brechung. — Auch der Bergkrystall, Saphir, Rubin, Turmalin, Smaragd ꝛc. sind einachsige doppeltbrechende Krystalle, so wie Gyps, Glimmer, Salpeter, Topas, Aragonit ꝛc. zweiachsige.

Durch Nicol's Prisma, welches aus zwei dreiseitigen Kalkspathprismen, die aus einem gewöhnlichen Kalkspathrhomboeder geschnitten und durch Kanadabalsam an einander gekittet worden sind, besteht, sieht man die Gegenstände nur einfach, weil durch dasselbe nur der unregelmäßig gebrochene Strahl hindurchgeht, während der regelmäßig gebrochene von der Kanadabalsamschichte zurückgeworfen wird. Durch dieses Doppelprisma läßt sich auch leicht bestimmen, ob das von einem Körper kommende Licht polarisirt ist oder nicht, da man in dem ersten Falle bei einer ganzen Umdrehung des Prismas in der Intensität des Lichtes zwei Maxima und zwei Minima bemerkt, im zweiten aber sich die Intensität gleich bleibt; daher kann es beim Polarisationsapparat auch statt des Zerlegungsspiegels, wie die Turmalinplatte, gebraucht werden, und hat vor dieser den Vorzug, daß es klarere Bilder giebt.

2) Depolarisirt kann ein durch Reflexion polarisirter Strahl werden, d. h. einem polarisirten Strahle kann die Fähigkeit, vom zweiten Spiegel auch in den Lagen desselben, wo sonst keine Zurückwerfung stattfindet, doch zurückgeworfen zu werden, wieder gegeben werden, wenigstens für einige Farbenstrahlen, durch auf das Tischchen des Polarisations-Instrumentes gelegte Gyps- oder Glimmerblättchen oder auch andere dünne doppeltbrechende Körper, welche senkrecht auf die Achse geschnitten sind. Die Glimmer- und Gypsblättchen erscheinen im Zerlegungsspiegel farbig. Die Farben, welche sie bei der Lage des Zerlegungsspiegels bei 0° oder 180° und eben so bei 90° oder 270° zeigen, verschwinden bei einer Drehung von 45° und verwan-

deln sich bei der nächsten Drehung von 45° in die komplementären. Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man sich statt des Zerlegungsspiegels eines Nicol'schen Prismas bedient. Nimmt man statt dieser Blättchen schnell gekühlte und stark gepreßte Gläser in der Form von Kreisen, Quadraten, Dreiecken, oder zwei kreuzweise über einander gelegte parallelepipedische Glasstücke, so zeigen sich, wenn man sie auf das Tischchen oder auf den untersten Spiegel im Fuße des Gestelles legt, die mannigfaltigsten farbigen Figuren, wie farbige konzentrische Bogen, Kreise, blaue und gelbe Tupfen, ein schwarzes Kreuz, ein weißes Kreuz u. s. w., die verschieden sind und ihre komplementären Farben wechseln, je nachdem die beiden Reflexionsebenen zusammenfallen oder sich rechtwinkelig kreuzen. Auch hier wirkt das vor dem Auge gedrehte Nicol'sche Prisma auf dieselbe Art wie der Zerlegungsspiegel. Je zwei zusammengehörende Figuren sieht man bei langsamer Drehung des Zerlegungsspiegels oder des Nicol'schen Prismas in einander übergehen. Wendet man ein mittelst Glasprismen achromatisirtes Kalkspathprisma an, so erscheinen immer zwei Bilder mit den komplementären Farben, die bei der Drehung desselben ihre Farben umtauschen.

Wird ein senkrecht zur Achse geschnittenes Bergkrystallplättchen auf das Tischchen des Polarisationsapparates gelegt, so erscheint es im Zerlegungsspiegel lebhaft gefärbt, wobei die Farbe nach der Lage dieses Spiegels sich ändert. Die Platte erscheint aber nie farblos hell oder ganz dunkel wie etwa ein Gypsplättchen. Wenn man, um einfarbiges Licht anzuwenden, durch rothes Glas sieht, erscheint das Quarzplättchen bei gekreuzten Spiegeln nicht dunkel, sondern hell; wird aber der Zerlegungsspiegel aus dieser Lage rechts oder links gedreht, so tritt bei einem gewissen von der Dicke des Quarzplättchens abhängenden Winkel die Dunkelheit ein, die sonst bei der Nichtanwendung des Plättchens bei den gekreuzten Spiegeln stattfindet. Man sagt, der Quarz bewirke ein Drehung der Polarisationsebene und die so veränderte Polarisation heißt Zirkularpolarisation. Wenn dabei der Drehungswinkel auch im Allgemeinen im Verhältnisse der Dicke des Quarzplättchens steht, so ist er doch für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen bei unveränderter Dicke des Plättchens verschieden groß, z. B. bei ein Millimeter Dicke für rothe Strahlen 19°, für gelbe 23°, für grüne 28°, für blaue 32°, für violette 41°; woraus auch nothwendig folgt, daß, wenn weißes Licht angewendet wird, das Quarzplättchen bei keiner Lage des Zerlegungsspiegels weder farblos hell, noch ganz dunkel erscheint. Außer beim Bergkrystall ist eine Zirkularpolarisation bei einigen Flüssigkeiten, die bei den Versuchen in Glasröhren auf das Tischchen gebracht werden, beobachtet worden; so ist z. B. Zuckersyrup eine rechtsdrehende, Terpentinöl eine linksdrehende Flüssigkeit.

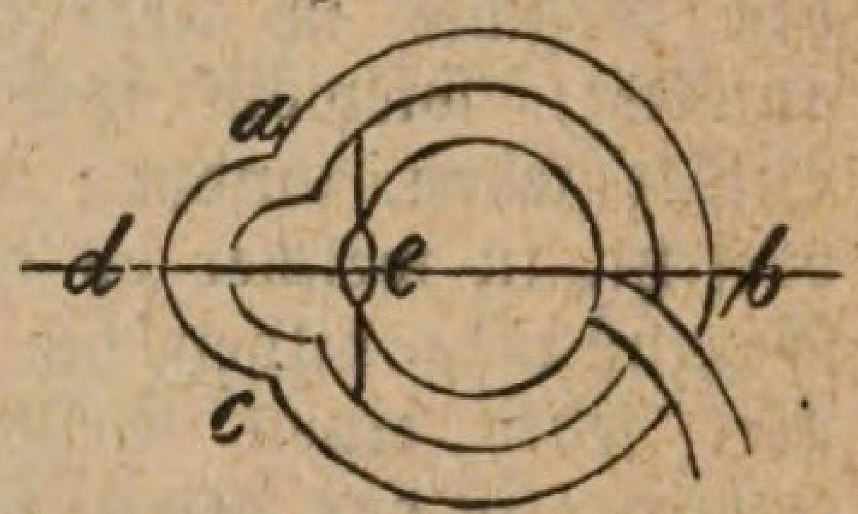
Die Anwendung der Zirkularpolarisation zur Bestimmung des Zuckergehalts in einer Zuckerlösung gründet sich auf die Erfahrung, daß eine Zucker-

lösung desto stärker die Polarisationsebene dreht, je konzentrirter sie ist. Saccharometer.

5) Vom Sehen.

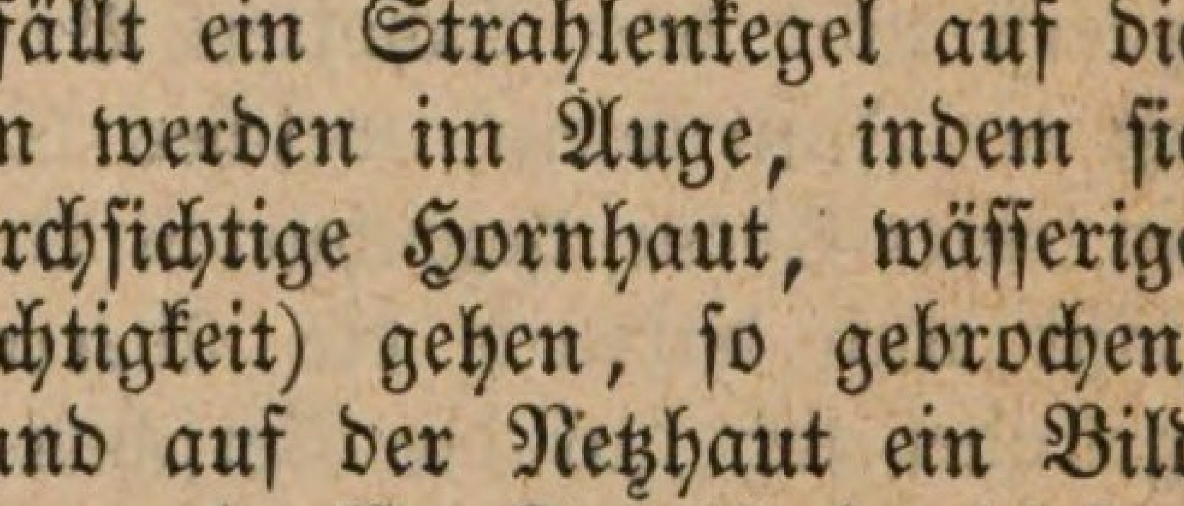
174. 1) Um einen Begriff zu erhalten von der Art, wie man sich das Sehen mittelst des Auges, so weit es nach den Lehren der Dioptrik erklärt werden kann, verdeutlicht, muß man seinen Bau wenigstens im Allgemeinen kennen. In der Figur 96 ist 1) abc die undurchsichtige Hornhaut oder die weiße Haut, 2) adc die durchsichtige Hornhaut, 3) die Adernhaut vor der undurchsichtigen Hornhaut, 4) die Regenbogenhaut oder die Iris unter der durchsichtigen Hornhaut mit der Pupille, welche sich bei zunehmendem Lichtreize verengt, bei abnehmendem erweitert, 5) die Netzhaut oder die Retina vor der Adernhaut; sie ist eine Ausbreitung des aus dem Gehirne kommenden Sehnerven. Im Innern des Auges ist die Krystalllinse e, durch welche das Auge in die Vorderkammer, die mit der wässerigen Feuchtigkeit, und in die Hinterkammer, die mit der Glasfeuchtigkeit angefüllt ist, getheilt wird. Die gerade Linie db, mitten durch die Pupille und senkrecht auf beiden Flächen der Linse, heißt die Augenachse; sie ist zugleich die Achse der Linse. Das Sehen verdeutlicht man sich nun auf folgende Art: Von jedem leuchtenden Punkte fällt ein Strahlenkegel auf die Pupille des Auges; alle diese Strahlen werden im Auge, indem sie durch mehrere durchsichtige Mittel (durchsichtige Hornhaut, wässerige Feuchtigkeit, Krystallinse und Glasfeuchtigkeit) gehen, so gebrochen, daß sie sich hinter der Linse kreuzen und auf der Netzhaut ein Bild des leuchtenden Punktes bewirken. Der mittelste Strahl in diesem Strahlenkegel, der gleichsam den optischen Mittelpunkt der Krystalllinse trifft, die Achse desselben, auch die Sehlinie genannt, geht ungebrochen durch das Auge, und in dem Punkte, in welchem er die Netzhaut trifft, müssen alle übrigen Strahlen des Kegels zusammenkommen, wenn ein deutliches Bild des leuchtenden Punktes entstehen soll. Nur diejenige Stelle der Netzhaut, wo der Sehnerv aus dem Gehirne ins Auge tritt, ist für das Licht unempfindlich (punctum coecum).

Figur 96.



2) Ein leuchtender Körper ist hier nur als eine Summe leuchtender Punkte zu betrachten. Sein Bild, welches, wenn es deutlich sein soll, auch auf der Netzhaut liegen muß, ist verkehrt, denn ist in Figur 97 Cc die Augenachse und zugleich die Achse der Krystalllinse, welche die Hauptbrechung bewirkt, und AB ein Objekt, so hat aus bekannten Gründen (§ 167) C sein Bild in c, B aber das seinige über Cc in b, so

Figur 97.



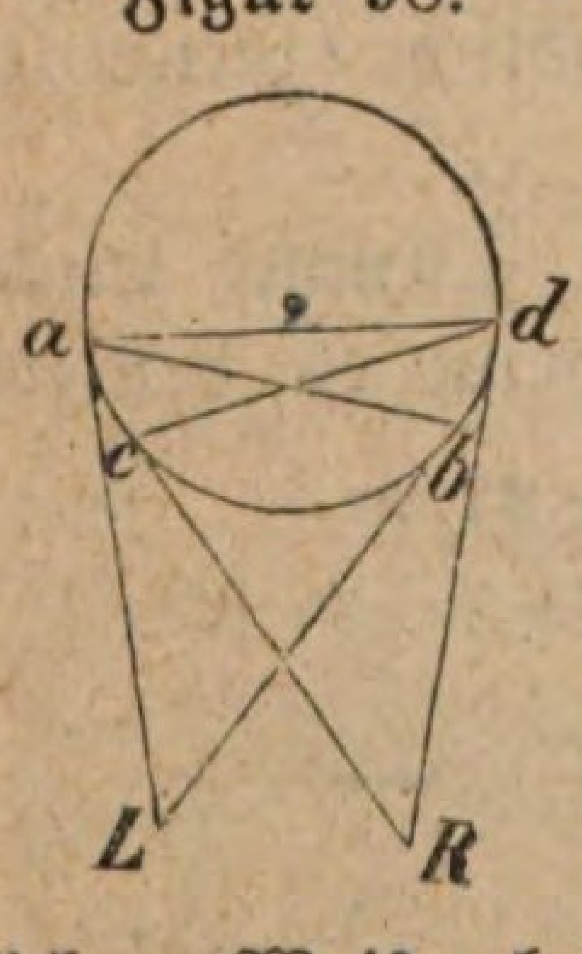
wie A unter Cc in a, so daß also das Bild ba die umgekehrte Lage von AB hat. Wie es übrigens möglich ist, daß durch das auf der Netzhaut entstandene Bild unser Geist die Empfindung des Sehens erhält, kann die Physik nicht lehren, und wohl auch keine andere Wissenschaft.

Unsere Sinnesthätigkeiten müssen, damit wir die Objekte außer uns erkennen, sich gegenseitig ergänzen, um die Erfahrungen des Tastsinnes mit denen des Gesichts in Uebereinstimmung zu bringen. Wir sehen die Gegenstände aufrecht, wiewohl ihre Bilder im Auge verkehrt sind, weil wir nicht diese Bilder sehen, sondern weil das Auge einen leuchtenden Punkt in die Richtung versetzt, in welcher es den Lichteindruck erhalten hat. Die unteren Punkte der Gegenstände bilden sich aber im Auge oben, die links gelegenen rechts ab u. s. w. Wir sehen einen Gegenstand mit beiden Augen einfach, wenn die Bilder desselben in den Augen symmetrische — identische, correspondirende — Stellen der Netzhaut treffen, doppelt aber im entgegengesetzten Falle; so erscheint ein Gegenstand, z. B. ein Licht, eine brennende Lampe doppelt, wenn wir das eine Auge an einer Stelle seitwärts mit dem Finger drücken, wodurch seine Gestalt verändert und hierdurch hervorgebracht wird, daß die Augenachsen nicht gleichliegende Punkte treffen. Sehen wir nach einer entfernten Stelle hin und halten zugleich näher am Auge, $^1/_2$ bis 1' entfernt, einen Körper, wozu sich besonders ein schmaler Körper eignet, z. B. einen Finger, so sieht man diesen ebenfalls doppelt.

Die Größe des Bildes hängt von dem Sehwinkel (§ 153, 3) ab, mithin die scheinbare Größe der Gegenstände von der Größe des Bildes; bei der Bewegung eines Gegenstandes bewegt sich auch sein Bild im Auge, und deshalb empfinden wir jene Bewegung.

3) Das von dem Engländer Wheatstone 1838 erfundene und zuerst von dem Schotten Brewster 1850 verbesserte Stereoskop ist ein Instrument, welches die Gegenstände von nach gewissen Regeln in einer Ebene gezeichneten Bildern den Augen verkörpert erscheinen läßt und dadurch die überraschendste Täuschung hervorbringt. Es gründet sich auf die Verschiedenheit der Bilder, welche in den beiden Augen von demselben Gegenstande entstehen. Da die Standpunkte der beiden etwa 3 Zoll aus einander liegenden Augen verschieden sind, so können die beiden Netzhautbilder nicht ganz mit einander übereinstimmen, denn das linke Auge übersieht von den links gelegenen Theilen des Gegenstandes mehr und von den rechts gelegenen weniger als das rechte Auge, und das rechte wieder von jenen weniger und von diesen mehr als das linke; auch erscheint dem einen Auge die Lage oder Richtung des Objekts häufig anders als dem andern, sowie von einzelnen Begrenzungsflächen sich die einen voll und die andern verkürzt den einzelnen Augen in umgekehrter Ordnung darstellen. Liegt z. B. ein Ring in Fig. 98 mit den Augen in gleicher Höhe horizontal, so übersieht das linke Auge L, bei geschlossenem rechten, den innerhalb der Tangenten La und Lb eingeschlossenen Bogen ab, das rechte Auge dagegen, bei geschlossenem linken, den in ähnlicher Weise bestimmten Bogen cd; beide Augen zugleich aber den Bogen ad, welcher um bd = ac größer als ab = cd ist. — Zieht

Figur 98.



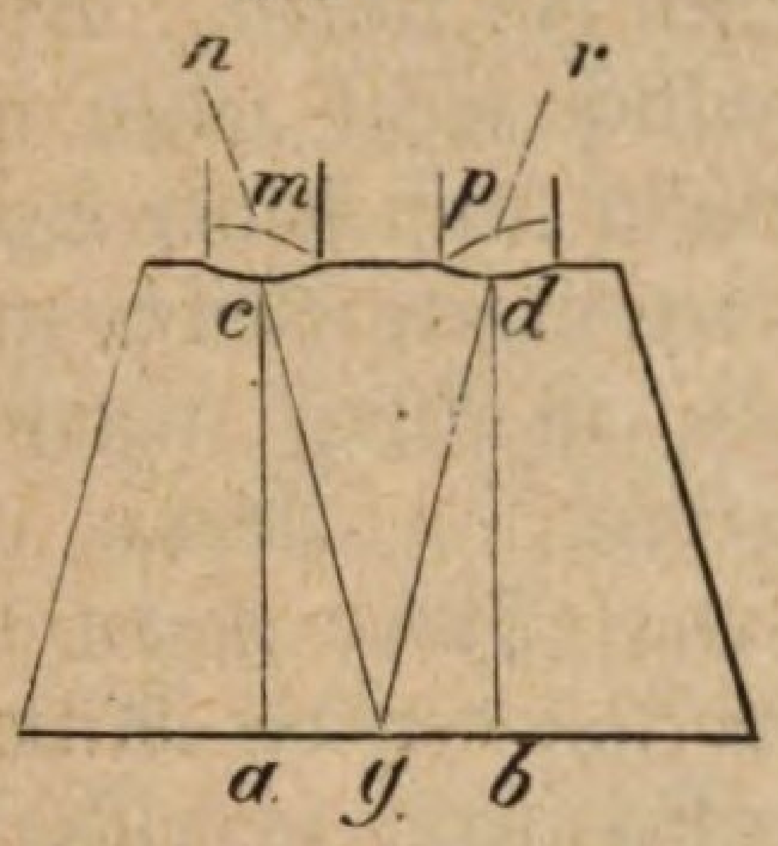
man auf der Oberfläche eines geraden Holzkegels rechts und links je zwei naheliegende Linien mit Kreide vom Gipfel bis zum Grundkreise, stellt ihn auf den Tisch und entfernt sich von ihm soweit, daß die zweiten oder entfernteren Linien den sichtbaren Theil der Kegelfläche begrenzen, wenn man mit beiden Augen zugleich sieht, so verschwindet die zweite Linie rechts beim Schließen des rechten Auges, so wie die zweite Linie links beim Schließen des linken. Eben so bei einer Kugel, so daß also beide Augen wirklich mehr sehen als jedes einzelne Auge für sich; jedes Auge sieht nämlich auf seiner Seite einen gewissen äußersten Theil, der dem andern verborgen bleibt, und so umfassen zwei Augen den Gegenstand weiter als ein Auge, wodurch wir uns seiner Körperlichkeit mehr bewußt werden. — Wenn ein Kegel vor dem Gesichte so gehalten wird, daß seine Spitze gegen die Nasenspitze gerichtet ist, während seine Grundfläche mit der die Mittelpunkte der Augen verbindenden geraden Linie parallel liegt, so erscheint die Kegelspitze vor dem Mittelpunkte des Grundkreises, oder seitwärts rechts oder seitwärts links von demselben, je nachdem man mit beiden Augen oder nur mit dem linken oder nur mit dem rechten sieht. — Wird ein Würfel, senkrecht mit einer Kante, zwischen den Augen in einiger Entfernung gehalten, so zeigt sich bei geschlossenem rechten Auge die linke Fläche voll und die rechte verkürzt; bei geschlossenem linken Auge die rechte voll und die linke verkürzt. — Bei einem in ähnlicher Weise mit der schmalen Seite zwischen den Augen gehaltenen Ringe sieht man mit dem linken Auge von links nach rechts durch denselben, mit dem rechten von rechts nach links. Diese und viele andere Fälle zeigen deutlich, daß die beiden Netzhautbilder mit einander nicht vollkommen übereinstimmen können.

Wenn nun von einem Gegenstande zwei Bilder aufgenommen werden, das eine denselben darstellend wie er dem linken Auge allein, das andere wie er dem rechten Auge allein erscheint, und wird eine solche Vorrichtung getroffen, daß das linke Auge nur auf sein Bild und das rechte gleichzeitig nur auf das seinige sehen kann, so ergänzen sich diese beiden Bilder zu einem einzigen in der Art, daß man den Körper selbst zu sehen glaubt. Diese Täuschung ist bei einiger Geduld schon ohne Instrument hervorzubringen, wenn zwischen die beiden Bilder nur irgend eine Scheidewand gestellt wird, oder wenn man die Augen so zu fixiren vermag, um jedes Auge zu verhindern, nach dem Bilde des andern zu sehen; weit bequemer hat man es beim Stereoskop: äußerlich ein Kästchen, welches die Form einer abgekürzten vierseitigen Pyramide mit rektangulärer Grundfläche hat, inwendig mit einer Scheidewand in der Mitte der langen Seiten. Auf den Boden werden die Bilder gelegt, im Deckel befinden sich in der Entfernung der beiden Augen zwei prismatische Gläser oder die zwei Hälften derselben bikonvexen Linse, mit den scharfen Rändern in der Mitte einander zugekehrt, oder es sind die Gläser auch in besondern Röhren angebracht. Zur Beleuchtung der undurchsichtigen Bilder befindet sich

in der einen längern Seitenwand eine verschließbare Oeffnung, und für die durchsichtigen Photographien auf Glas, die unter einem Winkel von etwa 12° aufgenommen werden, ist der Boden behufs der Beleuchtung durchbrochen.

Die Vereinigung des Doppelbildes zu einem einzigen Bilde erklärt sich also: Sind in Figur 99 a und b zwei entsprechende Punkte in den zwei Bildern, so werden zwei entsprechende Lichtstrahlen wie a c und b d nach bekannten Regeln gebrochen und nehmen auf der andern Seite der Gläser die Richtungen m n und p r an, wodurch jedes Auge seinen Punkt in den Durchschnittspunkt g der verlängerten n m und r p, längs welcher sie den Lichteindruck erhielten, versetzt.

Figur 99.



Die ersten Stereoskopen waren nicht Prismen-Stereoskope, sondern Spiegel-Stereoskope, in denen nicht die beiden zusammengehörenden Bilder, sondern deren Spiegelbilder betrachtet wurden. In der Mitte des Bodens befanden sich zwei ebene Spiegel unter einem Winkel oben zusammengefügt und den schmalen Seiten des Kästchens zugewendet, wo die Bilder, auf jeder Seite eins, angebracht wurden. — Das Stereoskop, verbunden mit der Photographie, giebt das beste Mittel, die Selbstanschauung von Statuen, Gebäuden, Ortschaften, Gegenden u. s. w. zu ersetzen.

4) Es ist durch Erfahrung dargethan, 1) daß wir uns eines Lichteindruckes auf die Netzhaut erst nach einiger Zeit seiner Wirkung bewußt werden, und 2) daß ein jeder Lichteindruck, wenn er erst zu unserem Bewußtsein gekommen ist, nicht sofort verschwindet, sondern eine gewisse kurze Zeit fortdauert. Hieraus folgt, daß ein Lichteindruck, welcher kürzer, als jene Zeit ist, eingewirkt hat, nicht empfunden wird, daß aber Lichteindrücke, welche so schnell auf einander folgen, daß der spätere empfunden wird, während die Empfindung des früheren noch fortdauert, von uns als gleichzeitig gehalten werden müssen. Die Zeit, welche nöthig ist, sich eines geschehenen Lichteindruckes bewußt zu werden, ist bei verschiedenen Menschen verschieden; auch die Zeit und die Stärke, durch und mit welcher er fortdauert, ist nach der Farbe des Lichtes verschieden; Weiß steht oben an, worauf Gelb, Roth, Blau folgen. Im Mittel rechnet man 0,34 Sekunden als diejenige Zeit, welche vom stärksten Eindrucke bis zum völligen Aufhören vergeht.

Den Durchgang desselben Fixsternes durch den Meridian können zwei verschiedene Beobachter in verschiedenen Augenblicken wahrnehmen, die wohl $^1/_4$ Sekunde aus einander liegen können. Eine im Kreise geschwungene glühende Kohle gewährt den Anblick eines feurigen Kreises; auf gleiche Art erscheint der Blitz wie jeder elektrische Funke als eine Lichtlinie. — Thaumatrop (Gehler IV. 1459 und VIII. 771) — Stampher's stroboskopische Scheibe. — Plateau's Anorthoskop. — Purkinje's Phorolyt. — Auch die Erscheinung, daß ruhende Gegenstände sich zu bewegen scheinen, wenn man vorher längere Zeit sich wirklich bewegende Gegenstände beobachtet hat, beruht darauf, daß jeder Lichteindruck einige Zeit fortdauert.

5) Man nimmt im Mittel als die Entfernung des deutlichen Sehens 8—10 Zoll an; so lange die Muskeln des Auge vollkommene Beweglichkeit haben, hat auch dieses die Fähigkeit, sich so einzurichten, daß es Gegenstände in größerer und kleinerer Entfernung, als die des deutlichen Sehens ist, deutlich sehen kann — sich zu accommodiren. Wären die Augentheile unbeweglich, so müßte nach bekannten Gesetzen der Dioptrik das Bild entfernter Gegenstände in der Hinterkammer des Auges näher an der Linse, als das naher Gegenstände sein, so daß das Bild eines Gegenstandes in einer Entfernung, die größer als die des deutlichen Sehens wäre, vor die Netzhaut, im entgegengesetzten Falle aber hinter sie, und nur dann auf sie fiele, wenn die Entfernung gerade die zum deutlichen Sehen erforderliche wäre. Da dieses aber bei einem gesunden Auge nicht so ist, so müssen entweder durch die Bewegung der Muskeln die durchsichtige Hornhaut und die Krystallinse für nahe Gegenstände mehr, für entferntere weniger konvex werden, oder die Krystallinse wird für nähere Gegenstände von der Retina etwas entfernt, für entferntere derselben aber etwas genähert. — Wer zum deutlichen Sehen eine merklich kürzere Entfernung als 8—10 Zoll braucht, heißt *kurzsichtig* (myops), wie der, welcher nur in einer merklich größeren Entfernung deutlich sieht, *weitsichtig* (presbys). Das kurzsichtige Auge hat nicht die Fähigkeit, sich für entfernte, so wie das weitsichtige nicht die Fähigkeit, sich für nahe Gegenstände einzurichten; beiden kommt man durch Linsen, von denen bei den optischen Instrumenten die Rede sein wird, zu Hilfe. (§ 176.)

6) Von den Lichtmeteoren.

175. Es giebt außer den in diesem Abschnitte schon gelegentlich angeführten Lufterscheinungen noch viele andere, welche auf der Zurückwerfung, Beugung, Interferenz, Brechung und der damit verbundenen Farbenzerstreuung beruhen, und von denen wir hier die vorzüglichsten, mit einigen erklärenden Worten begleitet, herausheben wollen. Man nennt sie vorzugsweise die *Lichtmeteore* der Atmosphäre.

1) Daß die *Tageshelle* nicht blos durch das unmittelbar zu uns gelangende und durch das von den irdischen Körpern zurückgeworfene, sondern auch durch das von der atmosphärischen Luft und den in ihr schwebenden Wolken zurückgeworfene Sonnenlicht bewirkt wird, geht daraus hervor, daß Orte, die im Schatten liegen, nicht dunkel sind.

2) *Morgendämmerung* heißt die Helligkeit vor Sonnenaufgang, *Abenddämmerung* dagegen die Helligkeit nach Sonnenuntergang; jene beginnt und diese schließt den Tag. Sie beruhen beide auf der Zurückwerfung des Sonnenlichtes durch die höheren Luftschichten. Ehe noch die Sonne aufgeht und ihr Licht unmittelbar zu

uns gelangen kann, beleuchtet sie schon von einer gewissen Tiefe unter dem Horizonte an die höheren Luftschichten und die in ihr schwebenden Dünste und Wolken unseres östlichen Horizontes, und diese werfen uns einen Theil des erhaltenen Lichtes zurück; dasselbe findet statt, wenn die Sonne bereits untergegangen ist, wo sie dann bis zu derselben Tiefe ihres Standes die höheren westlichen Luftschichten erleuchtet. Die Dämmerung beginnt oder endet, wenn sich die Sonne 18° unter dem Horizonte befindet. Ihre Dauer hängt von der geographischen Breite des Ortes und von der Jahreszeit ab; sie nimmt vom Aequator nach den Polen zu und ist im März und Oktober am kürzesten, im Juni und Juli am längsten. Morgen- und Abenddämmerung verkürzen die Nacht, verlängern also den Tag und bewirken einen allmäligen, unseren Augen wohlthuenden Uebergang von der Dunkelheit zur Helligkeit und von dieser zu jener. Math. Geogr. S. 68.

3) Die Bläue des Himmels wird durch die Einwirkung der Atmosphäre auf das Sonnenlicht erklärt. Die Luft zersetzt nämlich dasselbe, wirft das mehr brechbare blaue und violette Licht zurück und läßt das weniger brechbare rothe und gelbe hindurch, während sie aber auch gleichzeitig weißes unzersetztes Sonnenlicht zurückwirft. Je mehr sie nun blaues und je weniger weißes Licht zurückwirft, desto dunkler blau erscheint der Himmel, und im entgegengesetzten Falle auch entgegengesetzt. Das Wassergas oder der durchsichtige Wasserdampf erhöht; die Dünste aber, das in Wasser übergehende Wassergas, wie es die Nebel und die Wolken enthalten, vermindern die Durchsichtigkeit der Luft, so wie die blaue Farbe des Himmels, welcher dann ein graues Aussehen annimmt; ein Beweis, daß die Wasserdünste viel unzersetztes Sonnenlicht zurückwerfen, daher sieht der Himmel zu Mittage und in der Nacht, besonders im Winter, dunkler als am Morgen und Abende aus, und daher erscheint der Himmel auf Bergen viel dunkler blau als in Thälern, so wie nach einem Regen schön blau. Wenn die Luft gar kein Licht reflektirte, müßte uns der Himmel schwarz erscheinen; daher auf hohen Bergen das Dunkelblaue des Himmels fast ins Schwarze übergeht.

4) Die Morgenröthe und Abendröthe, bekannte Erscheinungen beim Aufgange und Untergange der Sonne, hängen nach der gewöhnlichen Ansicht mit der Bläue des Himmels genau zusammen; diese wird durch die zurückgeworfenen blauen, jene durch die durchgelassenen gelben und rothen Lichtstrahlen des Sonnenlichtes in den unteren, dichteren und an Dünsten reicheren Luftschichten erklärt. Enthält die Atmosphäre wenige Dünste, so ist der Himmel am Tage schön blau, die Sonne geht roth unter und die Abendröthe ist sehr schön; bei vielen Dünsten dagegen ist der Himmel weißlich, und die Sonne geht nur schwach geröthet, mehr weißgelblich unter. Eine andere Meinung ist die, daß diese Erscheinungen durch den in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf erzeugt werden. Nach Forbes hat dieser bei

seinem allmäligen Uebergange aus dem ganz durchsichtigen Zustande in den des weißen Nebels eine gewisse Zwischenstufe, auf welcher er den rothen Strahlen vorzugsweise den Durchgang gestattet, wie man das an dem Dampfe eines Theekessels und an dem aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaschine aufsteigenden Dampfe, ganz nahe an diesem Ventile, sieht, durch welchen die hinter ihm stehende Sonne tief orangeroth erscheint. — Göthe erklärt die blaue Farbe des Himmels dadurch, daß wir durch ein helles Mittel — die von der Sonne erleuchtete Atmosphäre — ins Dunkle sehen; dagegen bei der Abendröthe durch ein dunkles Mittel ins Helle — in die von der Sonne noch beleuchteten Luftschichten.

5) Die Höfe, lichte, meist farbige Ringe um Sonne, Mond und größere Sterne, heißen kleinere Höfe oder Ringe schlechtweg, wenn ihre Durchmesser nur wenige Male den Durchmesser des von ihnen eingeschlossenen Himmelskörper übertreffen, größere dagegen, wenn ihre Halbmesser 22 und noch mehr Himmelsgrade enthalten. Jene werden nach Frauenhofer durch Beugung des Lichtes beim Vorübergange desselben an den Rändern der in der Luft schwebenden Dunstkügelchen, diese dagegen vorzugsweise durch Brechung des Lichtes in sechs- und dreiseitigen Eisprismen, die in den hohen, kalten Regionen der Luft, selbst im Sommer, vorhanden sein können, hervorgebracht.

Die Heiligenscheine, lichte Scheine um den Schatten des Kopfes, wenn er auf Nebel fällt, können als Höfe betrachtet werden. Ein brennendes Licht oder auch der Mond, durch eine schwach angehauchte reine Glasscheibe angesehen, zeigt einen Hof; ein solcher Hof bildet sich auch um ein Licht, welches in einem dunstreichen Zimmer brennt, oder um eine Kerzenflamme, welche man durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasscheibe betrachtet. Dort sollen also die Dunstbläschen, hier die kleinen Samenpartikelchen die Veranlassung der Erscheinung sein.

6) Mit den größeren Höfen kommen häufig vor die Nebensonnen und Nebenmonde, Bilder der Sonne und des Mondes am Himmel, gleich hoch zur Seite, genau über und unter, oder auch gerade gegenüber, von farbigen oder farbenlosen Kreisen, oft auch von einem Schweife begleitet. Huyghens sucht sie durch Brechung und Zurückwerfung des Lichtes in und von den in der Luft vorausgesetzten schwebenden Eisprismen, was Brandes durch Rechnung und Zeichnung weiter ausgeführt hat — Frauenhofer aber durch Beugung desselben an den Dunstkügelchen zu erklären.

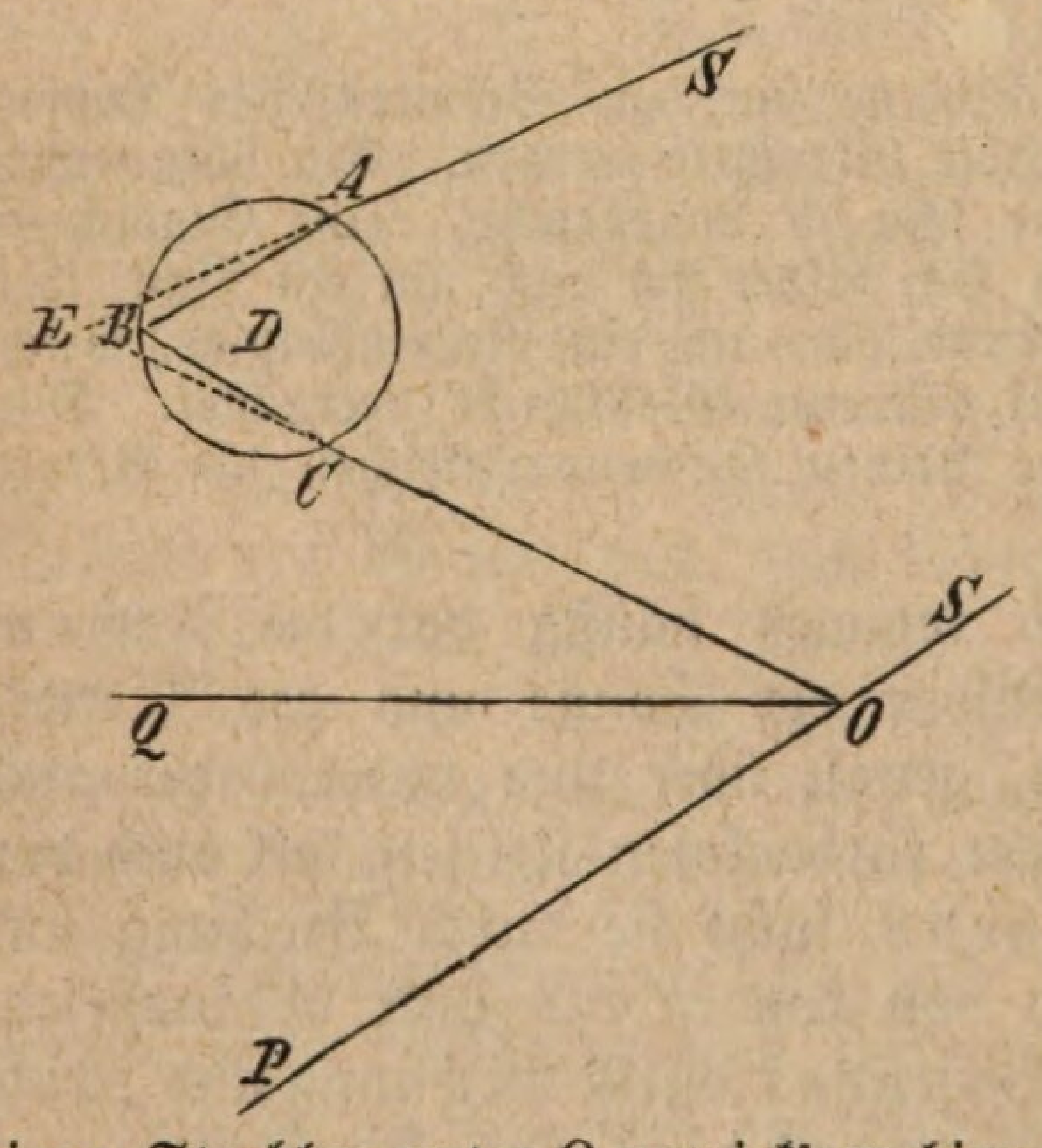
Das römische Phänomen 1629 — das Hevel'sche Phänomen 1661. — Auch sieht man oft Sonnenbilder über dem Meerhorizonte, welche durch gewöhnliche Luftspiegelung entstanden sind.

7) Der Regenbogen, wie bekannt, ein glänzender, mit den prismatischen Farben versehener, bogenförmiger, etwa zwei Grade breiter Streifen am Himmel, der nach innen violett, nach außen roth ist, entsteht nur, wenn die Sonne einer regnenden Wolke gegenüber

steht. Bei der Höhe der Sonne mehr als 42° über dem Horizonte entsteht gar kein Regenbogen, daher wir zu Mittage selten einen sehen; je niedriger sie aber unter dieser Höhe steht, desto größer wird er und wächst zum Halbkreise an, wenn sie sich am Horizonte befindet, daher bei ihrem Auf- und Untergange die größten Regenbogen gesehen werden; bei Wasserfällen und von den Masten der Schiffe sieht man oft ganze kreisförmige Regenbogen. Der Regenbogen ist immer ein Theil eines Kreises, dessen Mittelpunkt in der durch die Sonne und das Auge des Beobachters gezogenen geraden Linie liegt. Oft zeigt sich auch über diesem Regenbogen ein zweiter, dessen Farben schwächer sind und in umgekehrter Ordnung liegen. Jenen, den **Hauptregenbogen**, erklärt man durch zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung; diesen, den **Nebenregenbogen**, der etwa 10 Grade über dem Hauptregenbogen liegt, durch zweimalige Zurückwerfung und zweimalige Brechung der Lichtstrahlen in den fallenden Regentropfen. Wiewohl jeder Tropfen zur Erscheinung des Regenbogens nur einen Augenblick mitwirkt, so wird er doch sogleich durch einen anderen ersetzt; daher muß der Regenbogen so lange dauern, als die Wolke regnet und die Sonne die erforderliche Höhe hat. Uebrigens sieht jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen.

Wetter- oder Wassergallen — Mondregenbogen.

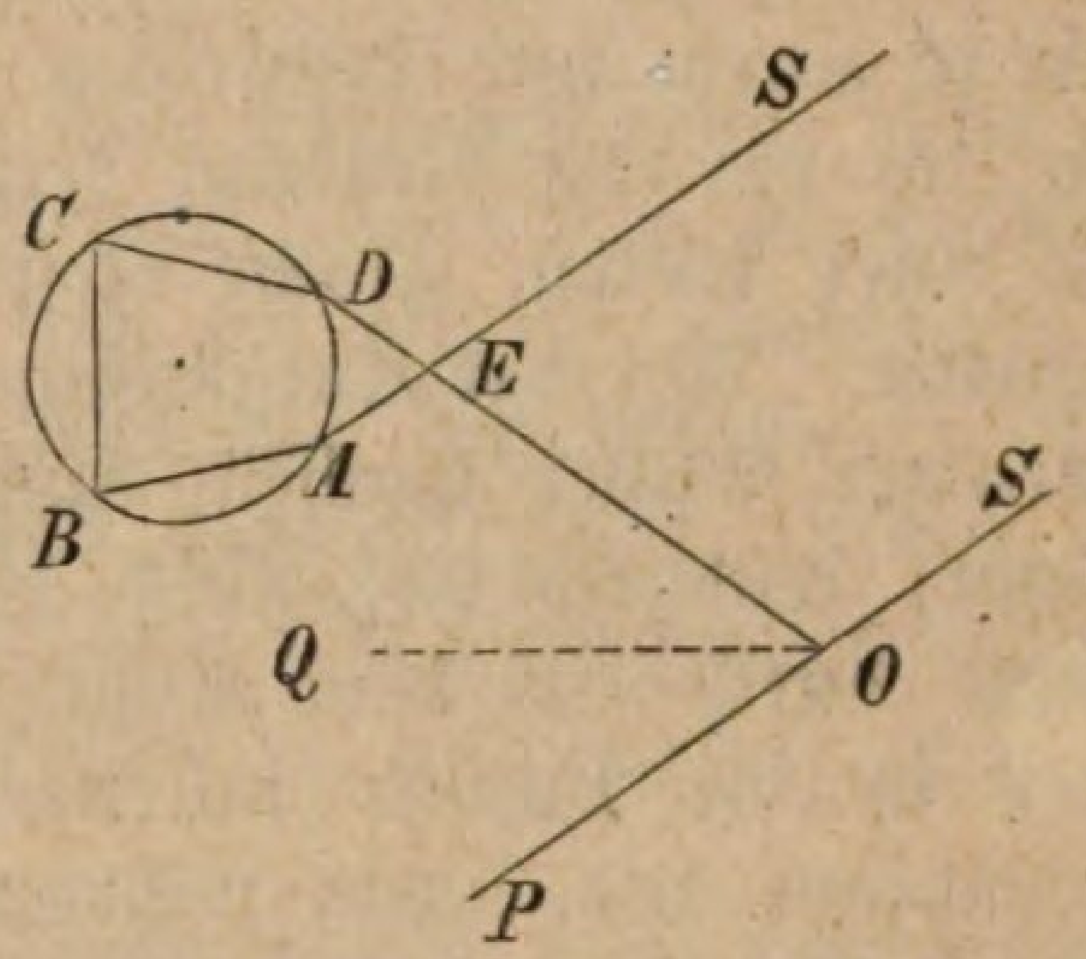
Figur 100.



Zur Theorie des Regenbogens folgende Andeutungen: Ist in Figur 100 S die Sonne, SA einer der vielen Sonnenstrahlen, die den Tropfen treffen, so wird ein Theil desselben in A von der Oberfläche zurückgeworfen, der zweite aber dringt hinein, erleidet in A eine Brechung zum Einfallslothe AD, in B angelangt, geht ein Theil durch, der andere wird nach C zurückgeworfen, wo er beim Austritte in die Luft eine Brechung vom Einfallslothe DC ab erleidet und dann nach O gelangt. Ist nun in O ein Auge, so kann es nicht von weißem, sondern wegen der Brechung von farbigem Lichte getroffen werden. Hat es eine solche Lage, daß es von dem brechbarsten blauen Lichte getroffen wird, dann gehen die anderen farbigen Strahlen unter O unwirksam hinweg, während aus einem höher liegenden Tropfen das Auge anders farbige Strahlen, z. B. die grünen Strahlen, erhalten kann, indem die stärker gebrochenen violetten, indigo und blauen Strahlen darüber, die weniger gebrochenen gelben, orangen und rothen darunter unwirksam weggehen. Es kann ein Tropfen auch die Höhe haben, daß er dem Auge nur die am wenigsten gebrochenen rothen Lichtstrahlen zusendet, indem alle anders farbigen darüber weggehen. Dieses durch die Zurückwerfung und Brechung sehr geschwächte Licht würde auf das Auge einen sehr schwachen Eindruck machen und den Regenbogen nicht hervorbringen können, wenn es nicht bei jedem Tropfen in seiner oberen Hälfte eine Stelle von einigen Graden gäbe, wo alle parallel auffallenden Strahlen auch aus dem

Tropfen fast parallel herausfahren und trotz der Schwächung vereint eine verstärkte Wirkung auf das Auge hervorbringen. Auf diese Weise kann das Auge aus einer Reihe übereinanderliegender Tropfen alle prismatischen Farben erhalten, deren äußerste nach unten violett, nach oben aber roth ist; da aber bei jeder anderen, von jener ersten Reihe zur Seite sich befindenden Reihe von übereinanderliegenden Tropfen, bei denen die einfallenden Strahlen mit den zurückgeworfenen eben so große Winkel bilden, sich diese Erscheinung zeigen muß, so erblickt man am Himmel einen farbigen Bogen. Die noch höher gelegenen Tropfen bewirken den Nebenregenbogen; die Strahlen müssen hier den in Figur 101 angegebenen Gang nehmen; sie erleiden nämlich in A eine Brechung, in B darauf eine Zurückwerfung, in C wieder eine Zurückwerfung, in D endlich eine zweite Brechung. Hat der Tropfen eine solche Höhe, daß die am wenigsten gebrochenen rothen Strahlen das Auge treffen, so wird dieses von den darüber sich befindenden nach der Reihe, die orangen, gelben, grünen, blauen, indigo, violetten erhalten — und auf diese Weise einen zweiten Regenbogen, dessen Farben aber in Vergleich mit dem ersten in umgekehrter Ordnung liegen und in Folge der zweimaligen Zurückwerfung blässer sind, sehen.

Figur 101.



Ist SP der durchs Auge gedachte Sonnenstrahl, der mit allen auf die Regentropfen fallenden Strahlen wegen der außerordentlich großen Entfernung der Sonne als parallel betrachtet wird, so ist, wie die Mathematik beweist, $\angle SEO = \angle EOP$,

beim Hauptregenbogen für die	violetten	Strahlen	40°	16′
„ „	rothen	„	42°	2′
beim Nebenregenbogen für die	rothen	„	50°	59′
„ „	violetten	„	54°	9′

Da nun die Größe dieser Winkel eine unveränderliche ist, der Mittelpunkt des Farbenkreises immer nach P fällt, d. h. nach dem der Sonne diametral entgegengesetzten Punkte, oder dahin, wohin der Schatten des Kopfes des Beobachters fällt, so kann man sagen, daß der Hauptregenbogen 42° 2′, fast = 42°, von diesem Mittelpunkte anfange. Ist OQ die horizontale Linie durchs Auge oder der Horizont, so ist einleuchtend, daß dieser Mittelpunkt immer so tief unter dem Horizonte liegt, als hoch die Sonne über dem Horizonte steht. Je höher also die Sonne steht, desto tiefer liegt des Farbenkreises Mittelpunkt unter dem Horizonte; desto kleiner wird der sichtbare Regenbogen sein, indem $\angle EOQ$ immer kleiner, $\angle QOP$ immer größer wird; bei einer Sonnenhöhe von 42° muß er ganz verschwinden, indem $\angle EOQ = 0$, $\angle QOP = 42°$ wird, beim Aufgange und Untergange der Sonne sich aber als Halbkreis zeigen, wo $\angle EOQ = 42°$, $\angle QOP = 0°$, also der auffallende Strahl parallel mit dem Horizonte ist.

Das Zodiakallicht, Thierkreislicht, ist ein heller Streifen am Himmel nach Sonnenuntergang in Westen, zur Zeit der Frühlings-Nachtgleiche, oder vor Sonnenaufgang in Osten, zur Zeit der Herbst-Nachtgleiche, welcher in den heißen, wohl auch in den gemäßigten Zonen sichtbar ist, indem er sich in der Richtung des Thierkreises hoch über den Horizont, an Breite abnehmend (unten 8 bis 10°, oben 4°) erhebt. Man weiß das Zodiakallicht noch nicht sicher zu erklären; einige Naturforscher halten es für die Sonnenatmosphäre, die entweder selbstleuchtend ist oder von der Sonne beleuchtet wird, andere dagegen glauben, es sei ein um die Sonne herumliegender Nebelring.

IV. Von den gewöhnlichsten optischen Instrumenten.

176. 1) **Brillen oder Augengläser** sind Linsen, deren sich kurzsichtige und weitsichtige Menschen zum deutlichen Sehen bedienen. Fällt im Auge das Bild vor die Netzhaut, wie beim Kurzsichtigen, so liegt das daran, daß die durchsichtige Hornhaut und die Krystalllinse zu konvex sind und deshalb die Strahlen zu stark brechen, wodurch die zu einem und demselben Strahlenkegel gehörenden Strahlen, indem sie sich vor der Netzhaut kreuzen, diese nicht in einem Punkte, sondern in einer kleinen Fläche treffen und dadurch ein undeutliches Bild bewirken. Da der Kurzsichtige die Hornhaut und die Krystalllinse nicht weniger konvex machen, auch letztere von der Netzhaut nicht entfernen kann, wodurch das Bild die Netzhaut erreichen könnte, so vermehrt man durch ein dem Auge vorgehaltenes Konkavglas die Divergenz der in die Pupille fallenden Strahlen, wodurch sie für das Auge gleichsam aus einem näheren Punkte kommen und darin ein von der Krystalllinse entfernteres Bild bewirken, welches bei für das Auge passender Konkavität die Netzhaut erreicht. Beim Weitsichtigen verhält sich alles umgekehrt. Die durchsichtige Hornhaut und die Krystalllinse sind zu wenig konvex, die Strahlen brechen zu wenig, wodurch das Bild hinter die Netzhaut fällt und undeutlich wird, weil die zu einem und demselben Lichtkegel gehörenden Strahlen die Netzhaut wiederum nicht in einem Punkte, sondern in einer kleinen Fläche treffen, da sie sich erst hinter ihr kreuzen. Jene Augentheile können weder mehr konvex gemacht, noch auch der Netzhaut genähert werden, um das Bild auf die Netzhaut zu bringen; wohl können aber durch eine dem Auge vorgehaltene Konvexlinse, welche immer die Konvergenz begünstigt, die divergent auffallenden Strahlen weniger divergent gemacht werden, wodurch sie gleichsam aus entfernteren Punkten kommen und im Auge, in Bezug auf die Krystalllinse, ein näheres Bild bewirken, welches bei für das weitsichtige Auge passender Konvexität bis auf die Netzhaut zurücktritt. Die Konkavlinse bringt also dem Kurzsichtigen die entfernten Gegenstände, und die Konvexlinse dem Weitsichtigen die nahen gleichsam in die für sie zum deutlichen Sehen nothwendige Entfernung.

Ein künstliches Auge mit einer Vorrichtung, um zu zeigen, wie bei Kurzsichtigen durch Konkavlinsen, bei Weitsichtigen durch Konvexlinsen auf der Netzhaut undeutliche Bilder deutlich gemacht werden. —

Es giebt verschiedene Grade der Kurz- und Weitsichtigkeit, weil die Augentheile, auf die es hier ankommt, in verschiedenen Graden zu viel und zu wenig konvex sein können, daher auch verschiedene Nummern der Augengläser. — **Konservationsbrillen** haben bedeutende Brennweiten von 16—20 Zoll. Weitsichtigkeit ist der gewöhnliche Fehler des höheren Alters, indem die durchsichtige Hornhaut und die Krystalllinse durch Austrocknung weniger konvex werden, so wie Kurzsichtigkeit am häufigsten im mittleren Lebensalter, sehr oft auch schon bei jungen Leuten vorkommt, meist herbeigeführt durch anhaltende Beschäftigung mit Dingen, die dem Auge nahe gehalten werden müssen und

die das Auge einseitig gewöhnen, z. B. das Zeichnen, Schreiben, Lesen u. s. f., wie denn überhaupt das Auge, namentlich in der Jugend, eben so leicht zur Weitsichtigkeit als zur Kurzsichtigkeit gewöhnt werden kann. — Schonung der Augen. — Grauer, grüner, schwarzer Staar, je nachdem das Uebel eine Verdunkelung der Krystallinse oder der Glasfeuchtigkeit, oder eine Unempfindlichkeit der Netzhaut ist. Die Staarbrillen für auf den grauen Staar operirte Personen, bei denen die Bilder weit hinter die Netzhaut fallen, sind natürlich sehr konvexe Linsen. — Lorgnetten. — Periskopische Brillen. — Schielsehen, Doppeltsehen.

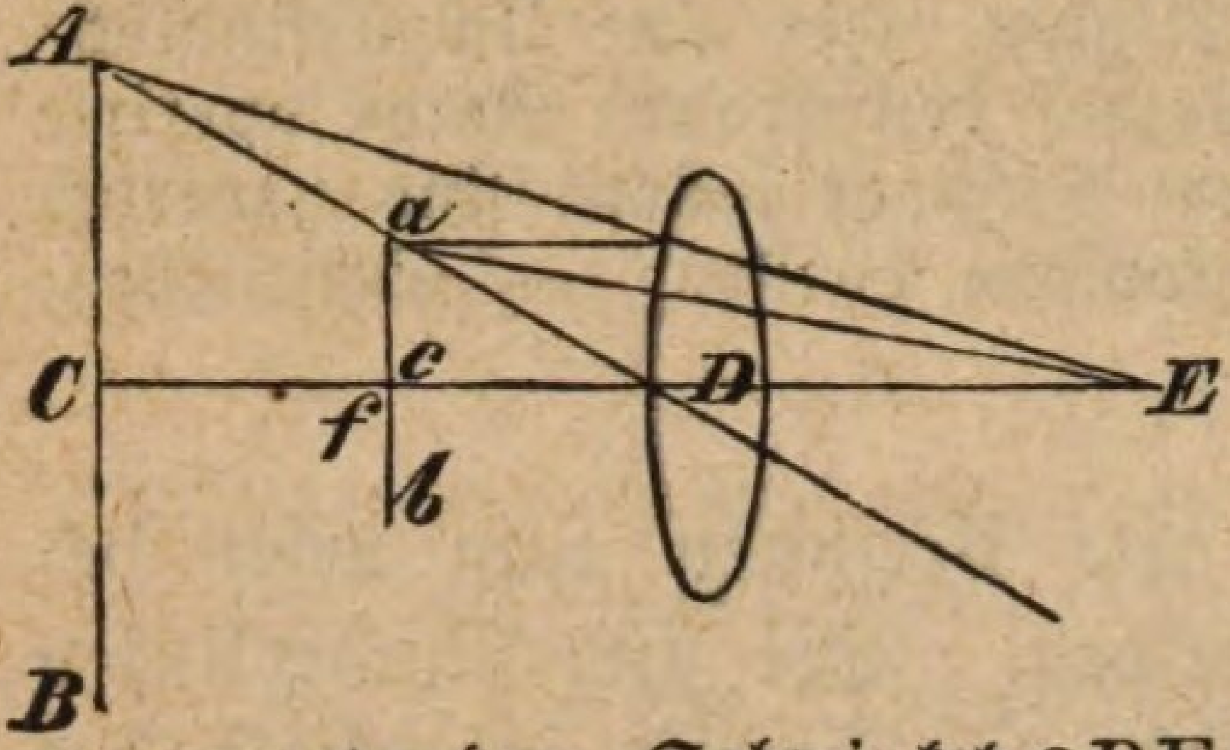
2) Die Lesegläser, deren sich alte Personen zum Lesen bedienen, haben zum Hauptzweck Vergrößerung. Sie sind Konvexlinsen von bedeutender Brennweite; befindet sich die Schrift innerhalb der Brennweite, so sieht sie das auf der Rückseite sich befindende Auge nach dioptrischen Gesetzen vergrößert und aufrecht, wie bei den einfachen Mikroskopen im folgenden Paragraph. Bei häufigem und lange dauerndem Gebrauche schaden sie dem Auge.

177. 1) Mikroskope, Vergrößerungsgläser, sind Instrumente, welche dem Auge nahe liegende kleine Gegenstände vergrößern. Das einfache Mikroskop ist eine kleine konvexe Glaslinse; sie stellt die Gegenstände unter einem größeren Sehwinkel dar und vergrößert sie dadurch. Dieser größere Sehwinkel entsteht zwar auch, wenn das Objekt näher vor das Auge gehalten wird, aber das Bild wird undeutlich, weil die Strahlen eines jeden Punktes auf die Pupille zu divergent auffallen, im Auge zu wenig gebrochen werden und sich erst hinter der Netzhaut vereinigen. Eine dazwischen so gehaltene Konvexlinse, daß das Objekt innerhalb der Brennweite und zwar ganz nahe am Brennpunkte zu stehen kommt, vermindert die Divergenz der auffallenden Strahlen, bewirkt ihre Vereinigung auf der Netzhaut und dadurch ein deutliches Bild, welches desto entfernter und desto größer erscheint, je kürzer die Brennweite der Linse ist. Das Objekt wird gleichsam in die Entfernung des deutlichen Sehens, etwa 8 Zoll, versetzt; daher muß auch der Kurzsichtige die Linse dem Objekte etwas näher, der Weitsichtige etwas entfernter halten; die Vergrößerung des Durchmessers eines Objektes findet man, wenn man 8 Zoll durch die Brennweite dividirt. Bei einer Brennweite von 1, $^1/_4$, 0,1 Zoll vergrößert also ein Mikroskop in derselben Ordnung $\frac{8}{1}, \frac{8}{^1/_4}, \frac{8}{0,1}$ oder 8, 32, 80 Mal im Durchmesser. Um die Vergrößerung einer Fläche oder eines Körpers zu erhalten, hat man nur nöthig, die Vergrößerungszahl (8, 32, 80 u. s. w.) des Diameters zu quadriren und zu kubiren. — Es gewährt nur ein kleines Gesichtsfeld, so daß man nur einen Theil des Gegenstandes übersieht.

Lupen — Mikroskopische Linsen — Glaskügelchen und Wassertropfen sind auch Mikroskope. Diamant- und Saphirlinsen, welche bei starker Strahlenbrechung die farbigen Strahlen (§ 169) weniger zerstreuen.

Obige Regel folgert man so: ist in Figur 102 ab das Objekt, AB das nach bekannten Regeln (§ 167) richtig gezeichnete Bild, AB = 2AC und ab = 2ac, so ist:

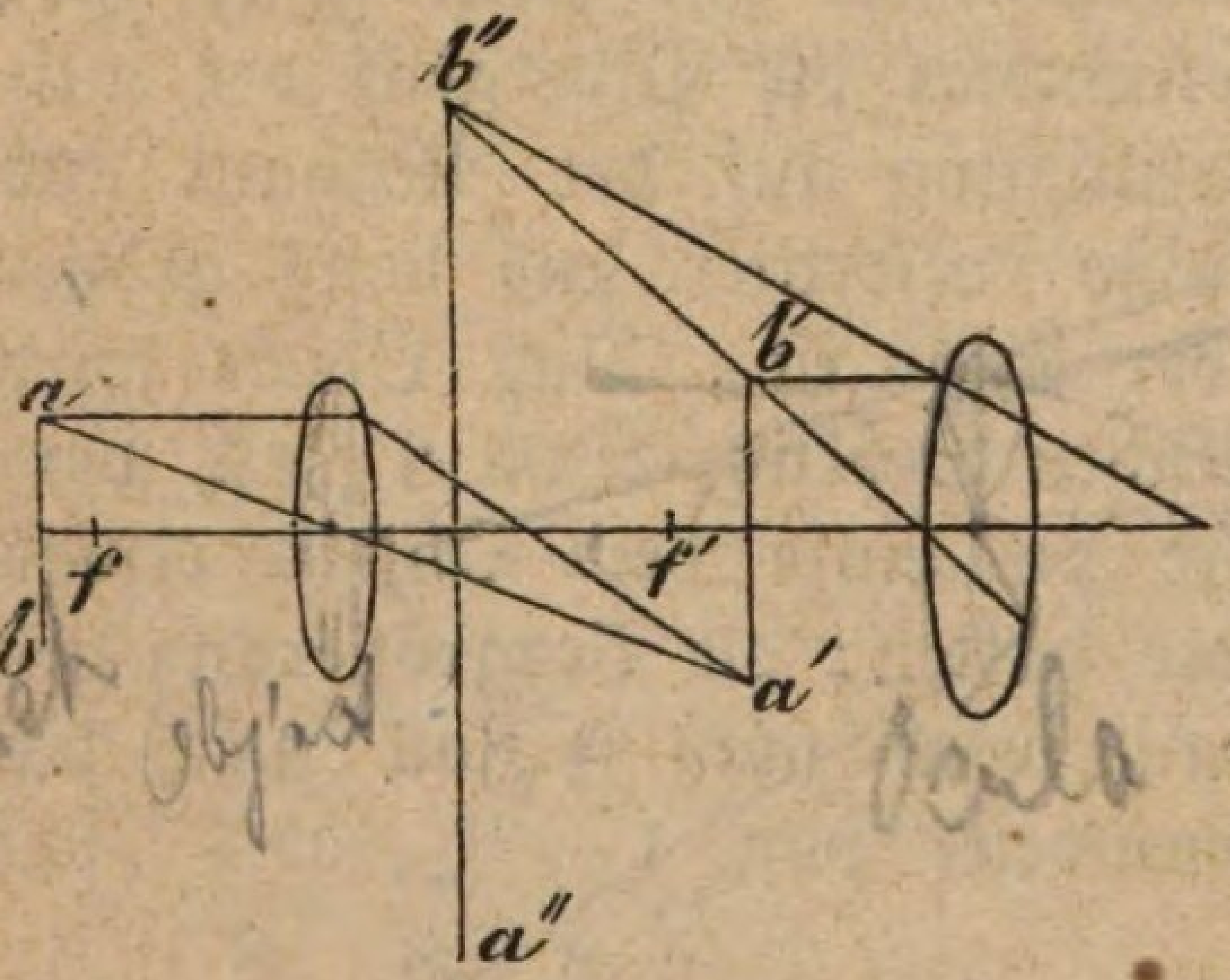
Figur 102.



$\triangle ACD \sim \triangle acD$, also $CD : cD = AC : ac = 2AC : 2ac = AB : ab$. Da aber CD ungefähr 8 Zoll, cD fast die Brennweite beträgt, so ist der Sinn der Proportion $CD : cD = AB : ab$ folgender: Der Durchmesser des Bildes übertrifft den des Objektes so oft Mal, als die Weite des deutlichen Sehens die Brennweite. — Ein Auge in E sieht das Objekt ohne Linse unter dem Sehwinkel 2aEc, mit ihrer Hilfe dagegen unter dem Sehwinkel 2BEC.

2) Das einfachste zusammengesetzte Mikroskop besteht aus zwei konvexen Gläsern, von denen das Objektivglas, d. i. das dem Objekte zugewendete, eine mikroskopische Linse von kurzer Brennweite ist, das Okularglas, d. i. das dem Auge vorgehaltene, dagegen eine Linse von größerer Brennweite. Der Gegenstand muß von dem Objektivglase etwas weiter als der Brennpunkt entfernt sein, wodurch ein verkehrtes, vergrößertes objektives Bild (§ 167, 4) zwischen den beiden Gläsern entsteht, und da die Entfernung derselben von einander von der Art ist, daß dieses Bild in der Brennweite des Okularglases nahe an den Brennpunkt fällt, so muß es, durch das Okularglas betrachtet, unter einem vergrößerten Sehwinkel erscheinen, wie beim einfachen Mikroskope das Objekt selbst. Das Auge sieht also durch das Okularglas nicht den Gegenstand, sondern sein durch das Objektivglas bewirktes verkehrtes und vergrößertes Bild abermals vergrößert. Figur 103. Die Vergrößerungszahl des ganzen Instrumentes findet man, wenn man die Vergrößerungszahlen der einzelnen Linsen mit einander multiplizirt.

Figur 103.



Gewöhnlich enthalten die zusammengesetzten Mikroskope noch eine dritte Linse, die sogenannte Kollektivlinse, welche zwischen dem Objektiv- und Okularglase und vor dem letztern in solcher Entfernung angebracht ist, daß sie vom Objektivglase herkommenden Strahlen vor ihrer Vereinigung zum Bilde auffängt; sie verkleinert etwas das Bild und nähert es dem Objektiv, giebt ihm aber größere Schärfe und vermindert die chromatische Abweichung.

Fassung des einfachen Mikroskops. Rohr; da mit Vergrößerung des Bildes die Helligkeit abnimmt, so wird zu stärkerer Beleuchtung (wie 3) des Gegenstandes ein Spiegel oder seitwärts eine Linse angebracht; Diaphragma oder Blendung, Mikrometer, und sonstige Einrichtung des Instrumentes. Die Mikroskope von Plössl in Wien, von Frauenhofer in München, von Pistor

und Schieck in Berlin sind berühmt, eben so die von Chevalier und die katoptrischen von Amici in Modena.

3) Das Sonnenmikroskop, von Lieberkühn 1738 erfunden, besteht aus einem Planspiegel, einer Konvexlinse von größerer Brennweite und einer mikroskopischen Linse. Die beiden letzteren befinden sich in einem Rohre, so daß zwischen dieselben vor die mikroskopische Linse zum Theil durchsichtige Objekte, z. B. Fliegenflügel, gebracht werden können; der Spiegel außerhalb des Rohres, vor der größeren Linse angebracht, ist beweglich eingerichtet. Das ganze Instrument wird in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers so befestigt, daß die Sonnenstrahlen auf den Spiegel und von da auf die große Konvexlinse fallen. Das Objekt, vor die mikroskopische Linse, etwas außerhalb deren Brennweite, verkehrt gelegt, bildet sich dann auf der gegenüberliegenden Wand bedeutend vergrößert in aufrechter Stellung ab. Nur die mikroskopische Linse bewirkt hier die Vergrößerung; die größere Linse dient blos dazu, das durch den Planspiegel auf sie geworfene Licht zu verdichten und dadurch das Objekt, welches sich fast in ihrem Brennpunkte befindet, stark zu erleuchten, weshalb sie auch Erleuchtungsglas oder Beleuchtungslinse heißt. Ist nun das fast im Brennpunkte des Erleuchtungsglases sich befindende Objekt in Bezug auf die mikroskopische Linse außerhalb ihrer Brennweite, aber nahe am Brennpunkte, so giebt es auf der anderen Seite ein verkehrtes, und wenn das Objekt verkehrt eingesteckt worden ist, also ein aufrechtes Bild, welches, von der gegenüberliegenden Wand aufgefangen, desto größer erscheinen muß, je entfernter sie ist. Es ist leicht zu zeigen, daß das Objekt im Durchmesser so oft vergrößert wird, als oft die Brennweite der mikroskopischen Linse in der Entfernung des Bildes enthalten ist. Die Vergrößerung kann sehr weit getrieben werden, das Bild kann abgezeichnet und von Vielen gleichzeitig gesehen werden.

Bei dem Lampenmikroskop von Adams tritt an die Stelle des Sonnenlichtes eine hell leuchtende Lampe, bei dem Hydro-Oxygengas-Mikroskop dagegen das Licht eines mittelst Knallgas zum Glühen gebrachten Kalkstückes, welches ein 153 Mal stärkeres Licht als eine Wachskerze giebt. (Das Drümmond'sche Kalklicht auch Solarlicht.)

178. Teleskope, Fernröhre, sind solche optische Instrumente, die unseren Augen entfernte Gegenstände vergrößern und verdeutlichen. Sie heißen dioptrische Fernröhre oder Refraktoren, wenn sie nur aus Gläsern zusammengesetzt sind, also das Licht in ihnen nur gebrochen wird; dagegen katoptrische, genauer katadioptrische, auch Reflektoren oder Spiegelteleskope, wenn sie Spiegel und Gläser enthalten, das Licht also in ihnen eine Zurückwerfung und Brechung erleidet. Von jeder Gattung giebt es drei Arten. Zu den Refraktoren gehören: a) Das astronomische Fernrohr oder Sternrohr, von Kepler 1620 erfunden und daher auch das Kepler'sche Fernrohr genannt, welches, wie das zusammenge-

setzte Mikroskop einfachster Art, aus zwei bikonvexen (achromatischen) Gläsern zusammengesetzt ist, von denen aber das Okularglas eine kürzere Brennweite als das Objektivglas hat. Die Entfernung der Gläser ist gleich der Summe ihrer Brennweiten, so daß also der Brennpunkt der Rückseite des Objektivglases mit dem Brennpunkte der Vorderseite des Okularglases zusammenfällt. Das Objektivglas bewirkt von sehr entfernten Gegenständen ein verkehrtes Bild, nahe am gemeinschaftlichen Brennpunkte in der Brennweite des Okularglases, welches dieses Bild dem Auge vergrößert und zwar so oft Mal, als oft die Brennweite des Okularglases in der des Objektivglases enthalten ist. Dieses Fernrohr zeigt hiernach die Gegenstände immer verkehrt, weshalb es hauptsächlich zu astronomischen Beobachtungen gebraucht wird.

Der berühmte Refraktor in Dorpat, von Frauenhofer, von 9″ Oeffnung, 160″ Brennweite und 13′ 7″ Länge vergrößert 700 Mal; der Refraktor zu Pulkowa bei Petersburg, ebenfalls aus dem optischen Institute von Utzschneider-Frauenhofer in München, hat 14″ Oeffnung und 21′ Brennweite und vergrößert 2000 Mal. — Heliometer. — Da die Vergrößerung des Bildes vom Verhältniß der Brennweiten abhängt, hat man, um zu lange Röhren zu vermeiden, versucht, das Objektivglas von sehr großer Brennweite auf einem hohen Gegenstande — dem Giebel eines Hauses — anzubringen, das Okularglas unter jenem parallel zu stellen. Durch solche Luftfernröhre kann man freilich nur bei Nacht, wo andere Strahlen nicht stören, beobachten.

b) Das älteste ist das Galilei'sche (1620) oder Holländische (Zacharias Jansen 1590), welches ein konvexes achromatisches Objektivglas und ein konkaves Okularglas von bedeutend kürzerer Brennweite hat und die Gegenstände aufrecht zeigt. Die Gläser stehen ungefähr um die Differenz ihrer Brennweiten von einander, d. h. so, daß der Zerstreuungspunkt des Okularglases mit dem Brennpunkte des Objektivglases auf der dem Auge zugewendeten Seite zusammenfällt. Es entsteht in diesem Fernrohre kein physisches Bild; auch kommt das durch das Objektivglas bewirkte verkehrte Bild in seinem schon außerhalb des Rohres liegenden Brennpunkte nicht zu Stande, da das Okularglas den Lauf der Strahlen ändert, und diese zum Bilde noch nicht vereinigt gewesenen Strahlen so ins Auge gelangen läßt, als kämen sie von einem aufrechten Bilde zwischen den Linsen, wodurch der Gegenstand in seiner wahren Stellung erscheint. Die Vergrößerungszahl findet man, wenn man mit der Zerstreuungsweite in die Brennweite dividirt.

Operngucker. — Taschenperspektive. — Plössl's Feldstecher.

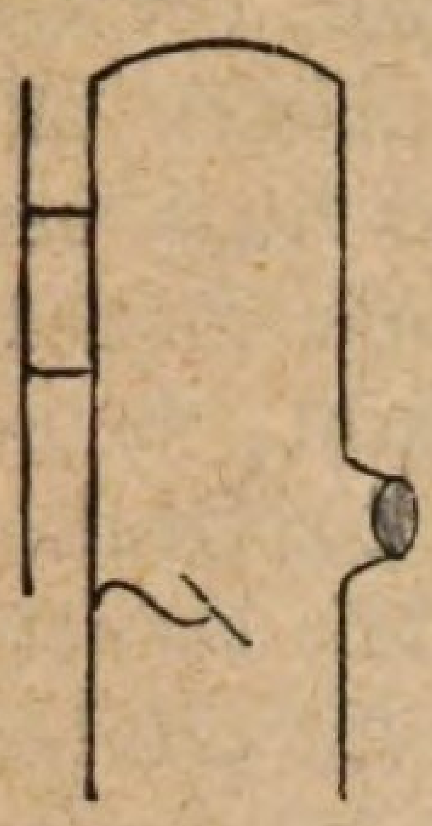
c) Das Erdfernrohr, vom Pater Rheita erfunden, besteht meist aus vier oder fünf konvexen Gläsern, und zwar aus einem Objektivglase von großer, und drei oder vier Okulargläsern von kleineren, aber gleichen Brennweiten. Die drei Okulare befinden sich in der Okularröhre in einer unveränderlichen Entfernung von einander, indem sie um die Summe ihrer Brennweiten von einander abstehen, so also, daß der hintere Brennpunkt des vorhergehenden mit dem

vorderen des nächstfolgenden zusammenfällt; dem Objektivglase können die Okulare nach der Entfernung der Gegenstände und der Beschaffenheit des Auges mehr oder weniger genähert werden durch Einstecken und Herausziehen der Okularröhre. Das Objektivglas giebt ein verkehrtes Bild, die beiden ersten Okulare kehren es um, bewirken also ein aufrechtes Bild, und dieses wird von dem dritten dem Auge vergrößert dargestellt, weshalb das Erdfernrohr die Gegenstände aufrecht zeigt; da man aber durch dasselbe erst das zweite Bild sieht, so erscheinen die Gegenstände weniger hell, als im Sternrohre. Die Okularröhre wird soweit hineingeschoben, daß das vom Objektivglase bewirkte verkehrte Bild entfernter Gegenstände ganz nahe vor das erste Okularglas fällt; dieses Bild würde von einem Auge hinter dem ersten Okulare, wie beim Sternrohre, verkehrt und vergrößert gesehen werden. In Bezug auf das zweite Okulare, welches die Lichtstrahlen durch die Brechung im ersten so erhält, als kämen sie von jenem Bilde, befindet sich dieses Bild außerhalb seiner Brennweite, wie beim Objektivglase das Objekt selbst; es muß mithin vom ersten Bilde, welches hier als Objekt für das zweite Okulare zu betrachten ist, ein verkehrtes Bild, also von dem wirklichen Objekte ein aufrechtes, innerhalb der Brennweite des dritten entstehen, welches endlich dem Auge dasselbe unter einem größeren Sehwinkel darstellt. Diese Betrachtung zeigt auch, daß das Erdfernrohr als ein doppeltes Sternrohr zu betrachten ist. Die Vergrößerung ist hier so oft Mal, als oft die Brennweite eines Okularglases in der des Objektivglases enthalten ist. Bei den Erdfernröhren mit vier Okulargläsern sind diese so gestellt, daß die von dem ersten Bilde auf das erste Okularglas von jedem Punkte divergent auffallenden Strahlen durch das erste und zweite Okulare konvergent gemacht werden; ehe sie sich hinter dem zweiten vereinigen, werden sie von dem dritten aufgefangen und noch konvergenter gemacht, und das zweite Bild entsteht erst zwischen dem dritten und vierten Okulare innerhalb der Brennweite des letzteren. Es giebt Erdfernröhre mit noch mehreren Okulargläsern, so wie auch mit nur zweien. Achromatische oder Dollond'sche Fernröhre.

Die Gläser werden in Röhren gefaßt, theils um alles fremde Licht von der Seite abzuhalten, weshalb die Röhren auch noch inwendig geschwärzt sind, theils um sie desto genauer auf ihre gemeinschaftliche Achse senkrecht zu stellen. Die Blendung, ein kreisrunder, undurchsichtiger Schirm, wird hinter dem Objektivglase angebracht, um nur die nahe an der Achse einfallenden Strahlen durchzulassen, wodurch ein deutlicheres Bild entsteht. Die Okularröhre ist beweglich eingerichtet, 1) weil der Kurzsichtige das Okularglas dem Objektivglase näher bringen, also die Okularröhre hineinschieben muß — damit das entstandene Bild dem eigentlichen Okulare so näher komme, wie bei dem einfachen Mikroskope das Objekt selbst; 2) weil ein und dasselbe Auge die Okularröhre desto mehr herausziehen muß, nach einem je näheren Gegenstande es sieht. Das Bild eines näheren Gegenstandes ist nämlich weiter hinter dem Objektivglase, also näher dem Okularglase, als das eines entfernten Gegenstandes; damit es also in dieselbe Entfernung vom Okularglase komme und eben so stark vergrößert werde, wie dieses, muß die Okularröhre herausgezogen werden.

Die drei Reflektoren werden nach ihren Erfindern Newton, Kassegrain und Gregory benannt. Das Newton'sche, Figur 104,

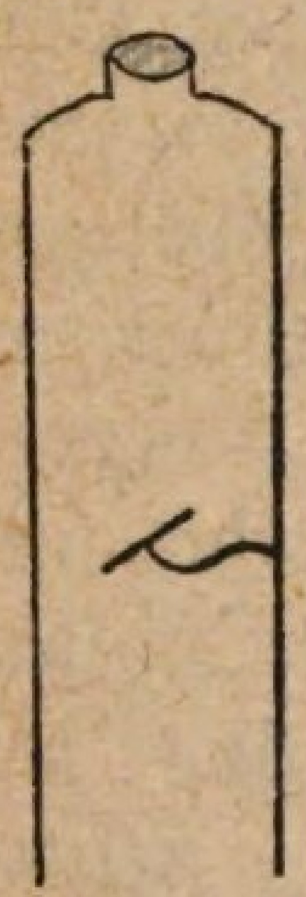
Fig. 104.

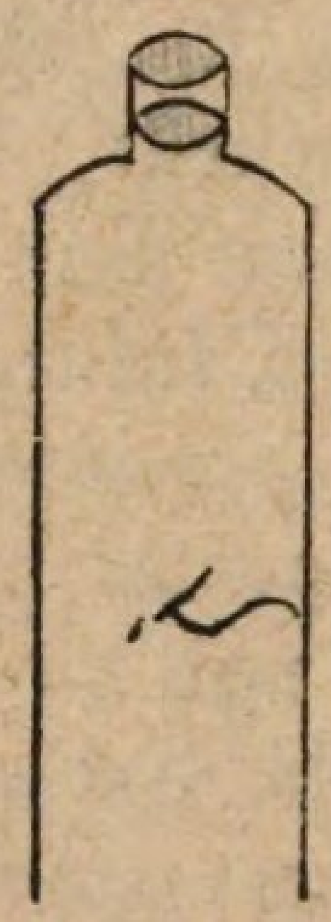


enthält im Hintergrunde einer Röhre einen metallenen Konkavspiegel von mehreren Fußen Brennweite, innerhalb der Brennweite desselben in der Achse, unter einem Winkel von 45° gegen sie geneigt, einen kleinen metallenen Planspiegel und ihm gegenüber in der Seitenwand in einer besonderen Röhre eine Konvexlinse. Der Konkavspiegel ist hier der Objektivspiegel; die durch ihn zurückgeworfenen Strahlen werden, ehe sie in seinem Brennpunkte oder in der Nähe desselben ein Bild bewirken, mittelst des Planspiegels in die Brennweite, nahe an den Brennpunkt der sich seitwärts befindenden Konvexlinse, welche das Okularglas ist, reflektirt, und machen hier ein Bild, welche das Auge durch diese Linse unter einem größeren Sehwinkel sieht.

Finder oder Sucher. — Des ältern Herschel's Teleskop war ein Newton'sches, bei dem er aber den Planspiegel wegließ. Es war 40′ lang und hatte 5′ im Durchmesser, der Konkavspiegel wog über 2000 Pfd., das ganze Teleskop an 4000 Pfd. Es vergrößerte den Durchmesser an 7000 Mal; man konnte die kleinste Schrift noch in einer Entfernung von 1500′ lesen. Der Spiegel des Teleskops, welches in neuerer Zeit Lord Rosse in Dublin bauen ließ und durch welches die Nebelflecke betrachtet, sich als Haufen von Sternen zeigten, hatte 6 englische Fuß im Durchmesser und 50 Fuß Brennweite.

Figur 105. Figur 106.



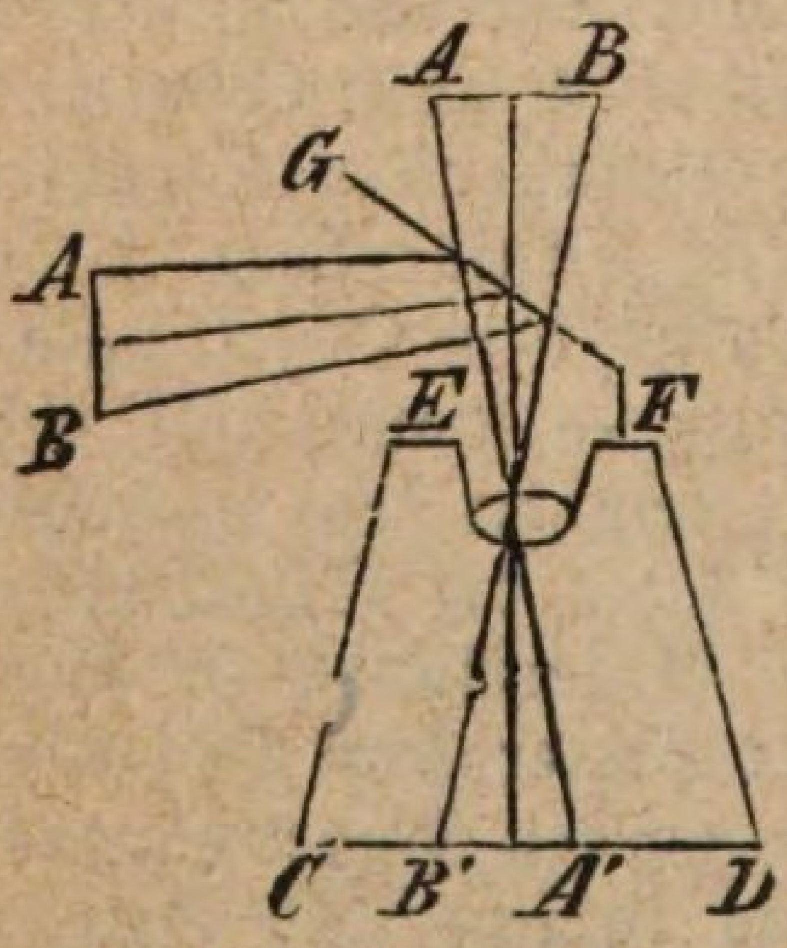


Wie sich das Kassegrain'sche und das Gregory'sche Fernrohr, die beide einen durchbrochenen Konkavspiegel haben, in der Konstruktion von dem Newton'schen im Allgemeinen unterscheiden, zeigen die Figuren 105 und 106.

179. Von denjenigen optischen Instrumenten, deren Hauptbestimmung ist, unterhaltende Erscheinungen zu gewähren, heben wir nur folgende hervor:

1) Die von dem Neapolitaner Porta 1558 erfundene Camera obscura, welche nicht nur, wie die beiden darauf folgenden Instrumente, von Malern und Zeichnern zum perspektivischen Aufnehmen von Landschaften, sondern auch in unsern Tagen ganz besonders bei der Daguerreotypie gebraucht wird. Sie hat gewöhnlich die Form einer abgekürzten Pyramide, CDFE, Figur 107, deren geschwärzte Wände fest an einander schließen, und die oben mit einem Aufsatze EFG versehen ist, welcher in einer beweglichen Röhre eine Konvexlinse in horizontaler Lage, und über dieser einen Planspiegel unter 45° Neigung gegen die Linse enthält. Das Licht entfernter Gegenstände fällt auf den nach ihnen gerichteten Planspiegel, wird von hier auf die Linse reflektirt und giebt

Figur 107.



auf dem Boden der Pyramide, welcher von der Linse um ihre Brennweite entfernt ist, ein aufrechtes Bild, wenn man von der Seite des Objektes in den Kasten hineinsieht. Denken wir uns zuerst den Planspiegel weg und über der Linse, sehr weit außerhalb ihrer Brennweite, ein Objekt A B, so muß nach bekannten dioptrischen Gesetzen (§ 167) auf dem etwa um die Brennweite entfernten Boden sich ein Bild verkehrt abbilden, wie A' B', und wenn das Objekt näher an die Linse rückte, so würde das Bild unter den Boden fallen, und man müßte ihn also, damit es auf demselben sichtbar würde, von der Linse entfernen. Bei den Daguerreotypen wird die Camera obscura ohne den Spiegel angewendet; die Linse befindet sich dem aufzunehmenden Gegenstande gegenüber in einer Seitenwand eines viereckigen Kästchens, während das Bild auf die gegenüberliegende bewegliche Seitenwand fällt. Um bei der in der Zeichnung angegebenen Einrichtung des Instruments seitwärts liegende Gegenstände auf die horizontale Bodenfläche abzubilden, braucht nur ein Planspiegel über die Linse unter 45° Neigung angebracht zu werden. Da nämlich ein ebener Spiegel auf ihn fallende Strahlen in unveränderter Lage zu einander zurückwirft, so ist es gerade so, als wenn die auf den Spiegel fallenden und von ihm auf die Linse zurückgeworfenen Strahlen unmittelbar von demselben Objekte über der Linse, ungefähr in derselben Entfernung, in welcher sich das Objekt vor dem Spiegel befindet, herkämen, wodurch die Erscheinung vollkommen erklärt ist.

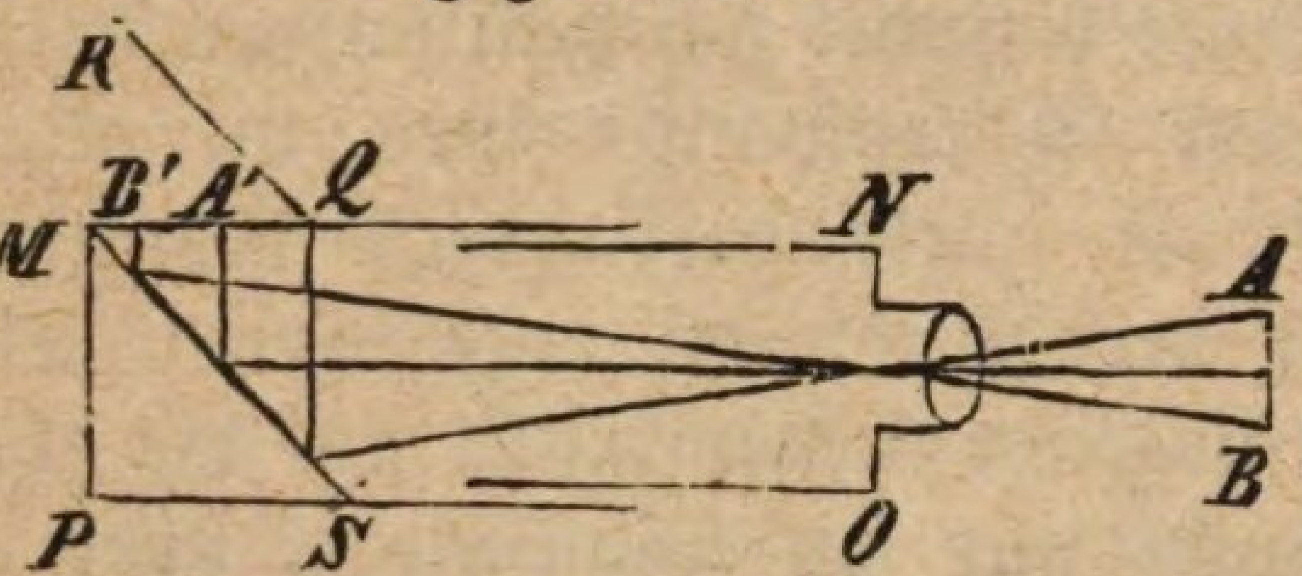
Einrichtung jeder Stube zu einer Camera obscura. — Die Anwendung der Camera obscura zur Fixirung der Lichtbilder hat Daguerre (1838) erfunden. Das durch die Konvexlinse erzeugte Bild wird durch eine silberplattirte Kupferplatte aufgefangen, deren Oberfläche durch sorgfältige Polirung und durch so lange andauernde Anwendung von Dämpfen von Chloriod, Chlorbrom oder Bromiod, bis sich eine violette oder goldgelbe Schicht von Jodsilber bildet, zur chemischen Einwirkung des Lichtes empfänglich gemacht worden ist. Die durch das Licht hervorgebrachten Veränderungen werden durch Anwendung von Quecksilberdämpfen dauernd sichtbar gemacht, indem sich dieselben in unendlich feinen Tröpfchen an denjenigen Stellen, wo das Licht am meisten eingewirkt hat, niederschlagen, nicht aber an denjenigen, wo eine Lichteinwirkung nicht stattfand; hierauf wird, um eine spätere Einwirkung des Lichtes zu verhindern, der Ueberzug von Jodsilber durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron oder durch eine siedend heiße Kochsalzauflösung beseitigt und schließlich wird durch eine Chlorgoldauflösung dem Bilde ein Hauch von Gold gegeben, um es bleibender zu machen. — Photographie oder Heliographie, Daguerreotypie, Daguerreotype. — Die sogenannten negativen Bilder entstehen, wenn die jodirten Silberplatten in der Camera obscura längere Zeit, als zur Erzeugung des Bildes nothwendig, der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt werden; die Schwärzung des Jodsilbers tritt dadurch sichtbar hervor und die dunklen Stellen der Bilder entsprechen den hellen der Gegenstände und umgekehrt, nachdem das Bild nach geschehener Lichteinwirkung mit einer gesättigten Lösung von Gallussäure übergossen worden ist.

Talbot hat das auf chemisch präparirtem Papier — kalotypes Papier — erzeugte negative Bild mit eben solchem Papier bedeckt, zwischen zwei Glasplatten gelegt und der Einwirkung des Tageslichtes ausgesetzt; er erhielt dadurch ein positives Licht, indem das Sonnenlicht von dem zweiten Papier durch die dunklen Stellen des Bildes auf dem ersten Papiere abgehalten wurde, während es durch die lichten Stellen seine Wirkung ausüben konnte. Da man

auf diese Art von einem einzigen negativen Bilde mehrere positive Kopien machen kann, so ist es hierdurch leicht, Bilder zu vervielfältigen (§ 218). Die Lichtbilder nach der Talbot'schen Methode werden vorzugsweise Photographien genannt.

Zur Erzeugung negativer Bilder werden jetzt Glastafeln angewendet, welche mit Eiweiß, Stärke ꝛc. überzogen sind, besonders aber mit Kollodium, dem Alkohol und Jodkalium beigemischt sind, übergossen und dann in eine wässerige Lösung von salpetersaurem Silber eingetaucht werden; für die positiven Bilder wird Chlorsilberpapier, ein mit Chlorsilber imprägnirtes Papier, gebraucht, ja Kollodium selbst. Die künstlerische Ausführung der Photographie ist ziemlich umständlich und erfordert große Sorgfalt.

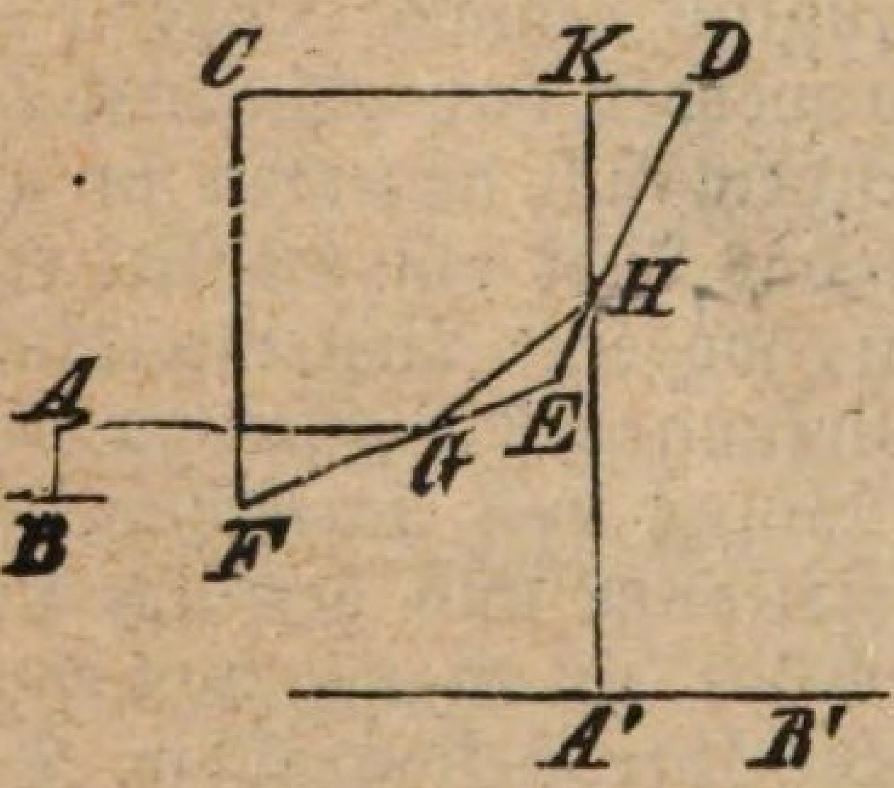
Figur 108.



2) Die Camera clara, Figur 108, ist ein viereckiger, länglicher Kasten MNOP, in dessen vorderem, beweglichem Theile sich eine Konvexlinse von ziemlich großer Brennweite befindet; ihr gegenüber im Kasten ein Planspiegel MS, unter 45° gegen den Boden geneigt, über diesem der bewegliche Deckel QR. Das Bild eines entfernten Gegenstandes AB vor der Linse würde etwa auf MP fallen, aber der Spiegel wirft es herauf in die Nähe des bei der Betrachtung geöffneten Deckels, wo man es entweder auf ein matt geschliffenes Glas oder geöltes Papier fallen läßt, oder mittelst einer Konvexlinse, die sich in einer besonderen Röhre befindet, betrachtet.

3) Die Camera lucida, von Wollaston 1809 erfunden, wird nicht wegen ihrer Einrichtung, sondern wegen ihres mit den beiden ersten Instrumenten gleichen Zweckes eine camera genannt. Auf einem Gestelle von $^1/_2$—$1^1/_2$' Höhe befindet sich ein kleines vierseitiges Prisma von etwa 1" Länge, dessen Grundfläche ein Trapezoid ist, in welchem ein Winkel ein rechter ist, der gegenüberliegende ein stumpfer von 135°, die beiden andern aber gleiche spitze von $67^1/_2$°. Ist in Figur 109 CDEF ein senkrechter Durchschnitt des nach dem Objekte so horizontal gestellten Prismas, daß C der rechte Winkel ist, so geht der Lichtstrahl AG, wenn er CF senkrecht trifft, ungebrochen in das Prisma, die Fläche EF trifft er unter einem Winkel von $90—67^1/_2 = 22^1/_2$°, wird in G nicht gebrochen, weil er unter einem zu kleinen Winkel auffällt (§ 163, 3), sondern unter $22^1/_2$° zurückgeworfen, trifft die Fläche ED in H unter $180° — 135 — 22^1/_2 = 22^1/_2$°, wird wieder unter $22^1/_2$° nach CD zurückgeworfen, trifft CD unter $180 — 67^1/_2 — 22^1/_2 = 90$°, geht also in K ungebrochen durch. Befindet sich nun über K ein Auge, so wird dieses den Punkt A nach A' versetzen und mithin ein ganzes Objekt AB auf einer Horizontalfläche wie A'B' sehen, welches Bild, wenn man, bei D stehend, in K herabsieht, aufrecht erscheinen muß, und auf einem weißen Blatte Papier mittelst eines Bleistiftes,

Figur 109.

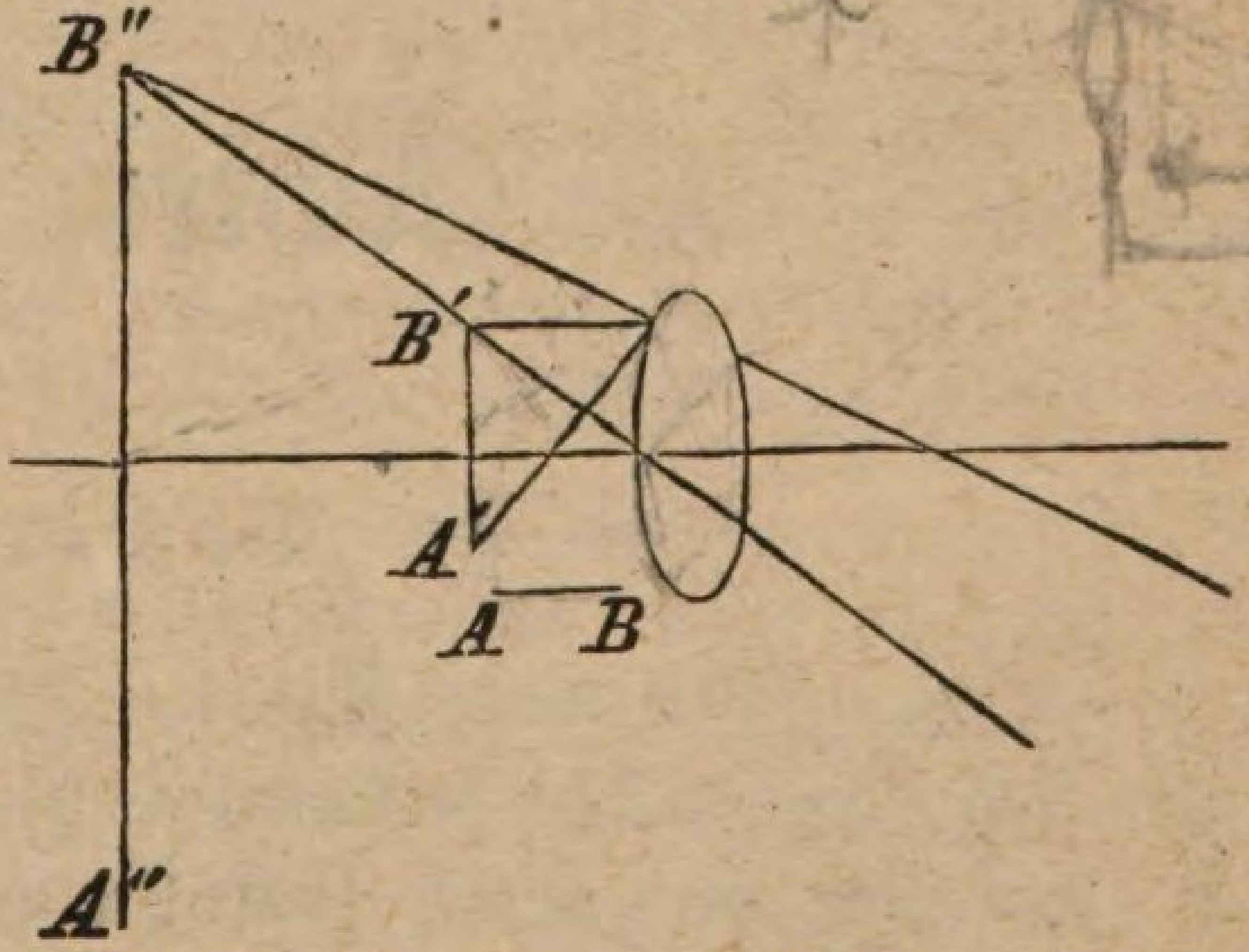


die beide auch von dem Auge in K gesehen werden, sogleich gezeichnet werden kann.

Sonstige Einrichtung des Instrumentes. — Anwendung des Prismas in Fernröhren statt des Spiegels. — Ein solches Sehen der Gegenstände durch Zurückwerfung der Lichtstrahlen von der Rückseite eines Prismas findet schon bei dem dreiseitigen statt, z. B. wenn man es senkrecht mit den langen Kanten vor einem Auge hält; man sieht die links liegenden Gegenstände rechts und umgekehrt, ohne farbige Säume.

4) Der optische oder perspektivische Kasten (Guckkasten) ist gewöhnlich zusammengesetzt aus einem Konvexglase von großer Brennweite, welches sich in senkrechter Lage befindet, und einem Planspiegel, welcher am oberen Rande des Glases unter 45° Neigung gegen dasselbe, also auch gegen den Horizont, angebracht ist. Das Ganze befindet sich in einem Kasten oder auf einem bloßen Gestelle. Werden Bilder, welche Straßen, Alleen, Städte, Landschaften darstellen, horizontal und in Bezug auf den Zuschauer verkehrt unter den Spiegel gestellt, so erscheinen sie darin, durch das Konvexglas betrachtet, aufrecht und vergrößert. Ein Gegenstand, innerhalb der Brennweite einer Konvexlinse gestellt, erscheint, wie bekannt, dem auf der andern Seite sich befindenden Auge aufrecht und vergrößert, und zwar letzteres desto mehr, je näher der Gegenstand dem Brennpunkte ist. Für senkrecht gestellte Gegenstände bedarf also der perspektivische Kasten nur einer Konvexlinse; sollen aber horizontale Gegenstände wie senkrecht gestellte erscheinen, so muß noch ein Planspiegel in der angeführten Lage angebracht sein. Das horizontale Objekt AB in Figur 110 giebt im Planspiegel das aufrechte Bild A′B′ innerhalb der Brennweite der Linse, durch welche dem Auge dasselbe unter einem größeren Sehwinkel als A″B″ erscheint.

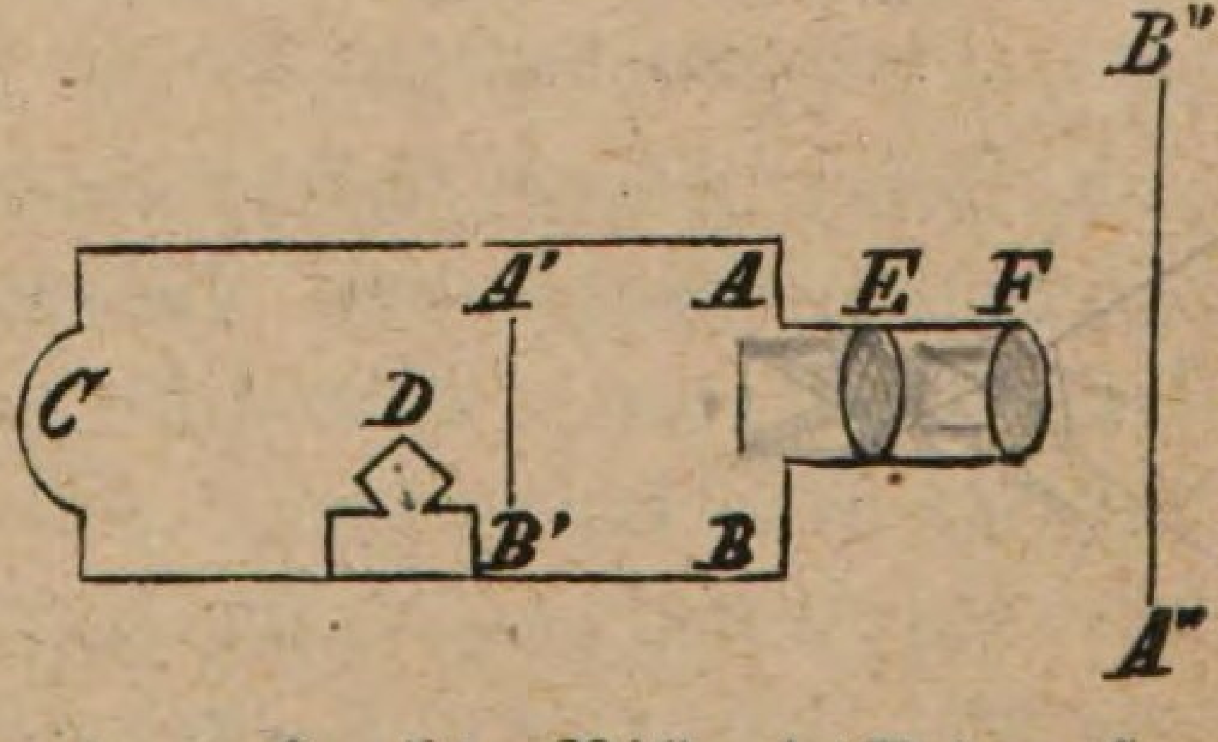
Figur 110.



Kosmoramen — Dioramen — Panoramen.

5) Die von Kircher 1671 beschriebene Laterna magica, Zauberlaterne, ist ein Kasten, gewöhnlich mit zwei Konvexlinsen, einem Konkavspiegel und einer Lampe, in der Anordnung, wie sie Figur 111 ungefähr angiebt. Die Lampe D und der Spiegel C dienen nur zur Beleuchtung des Objektes AB, wie beim Sonnenmikroskope die Sonne und der Planspiegel. Das Objekt befindet sich in der Brennweite, nahe am Brennpunkte der Linse E, welche daher die Lichtstrahlen so bricht, daß das vergrößerte aufrechte Bild A′B′ außer-

Figur 111.



halb der Brennweite von E entstehen würde, und weil nun die Lichtstrahlen von E auf F so fallen, als kämen sie unmittelbar von A′ B′, also von einem außerhalb der Brennweite der Linse F sich befindenden Objekte, so muß dieses Bild auf der andern Seite der Linse F ein umgekehrtes und vergrößertes objektives Bild geben, wie A″ B″ — wenn mithin das Objekt AB, hier auf Glas gemalte Bilder, verkehrt vor die Linse E gestellt wird, so muß das Bild B″A″ aufrecht auf einer in gehöriger Entfernung sich befindenden Wand oder einer andern senkrechten Ebene erscheinen. — Nach der Entfernung der das Bild auffangenden Fläche werden die Linsen E und F, die einander mehr oder weniger genähert werden können, gestellt.

Phantasmagorien — Nebel- oder Wandelbilder, die mit zwei gleichen Zauberlaternen an derselben Stelle eines Schirmes oder Vorhanges hervorgebracht werden. — Chromatropen sind Linien- und Farbenspiele, welche mittelst einer Zauberlaterne erzeugt werden, indem in derselben an der Stelle des Objektes zwei runde mit sternförmigen Figuren bemalte und hinter einander angebrachte Glasscheiben nach entgegengesetzten Richtungen gedreht werden.

Achter Abschnitt.

Von der Wärme.

180. Mit dem Worte Wärme bezeichnen wir entweder ein gewisses, uns allen bekanntes Gefühl, oder den Zustand der Körper, in welchem sie jenes Gefühl erregen, oder endlich die unbekannte Ursache jenes Gefühles und dieses Zustandes, in welchem letzteren Falle wir uns auch des Ausdruckes Wärmethätigkeit oder Wärmestoff bedienen.

Die Natur der Wärme kennen wir eben so wenig, wie die des Lichtes. Nach der neuesten Ansicht beruhen die Erscheinungen der Wärme wie des Lichtes auf Undulationen eines und desselben hypothetischen Aethers mit dem Unterschiede, daß bei der Wärme die Schwingungen langsamer sind als beim Lichte. Wie die Schwingungen tönender Körper auf die Gehörnerven wirken, so die schnelleren Schwingungen des Aethers auf den Sehnerven, die langsamern desselben dagegen auf die Nerven des Gemeingefühls.

Jeder Körper besitzt einen gewissen Grad von Wärme. Die verschiedenen Grade von Wärme bezeichnet man mit dem Ausdrucke Temperatur. Eine sehr hohe Temperatur heißt Hitze, eine sehr niedrige Kälte.

181. Wärme wird auf mannigfaltige Art erzeugt, z. B. durch das Sonnenlicht, durch den Stoß, durch Zusammendrückung,

durch Reiben, Elektrizität, beim Verbrennen der Körper, bei vielen chemischen Prozessen u. s. w.

Durch Brenngläser und Brennspiegel kann die Sonnenwärme so verdichtet werden, daß sie Metalle schmilzt und den Demanten zerstört. — Im pneumatischen Feuerzeuge oder in der Rollet'schen Pumpe entzündet sich Schwamm oder Baumwolle durch bloße Verdichtung der Luft. — Seile, Bohrer, Sägen u. s. w. werden während des Gebrauches warm, Kanonen erhitzen sich während des Ausbohrens — so wurden 113 Pfd. Geschütz-Metall in 30 Minuten um 31° R. erwärmt, und Rumford brachte durch fortgesetztes Bohren Wasser zum Sieden. — Eisen beim Hämmern, Glas und Steine beim Schleifen; die Hände werden durch Reiben erwärmt; Hölzer, an einander gerieben, entzünden sich; so auch Wagenachsen und die Zapfen an Maschinenrädern, wenn sie nicht gehörig eingeschmiert sind; Mühlsteine haben schon oft, wenn sie leer herumgetrieben wurden, Feuer verursacht. — Wasser auf gebrannten Kalk gegossen, erzeugt Wärme, eben so Schwefelsäure mit Wasser gemischt; nasses Heu, Getreide, Mist können sich von selbst entzünden. — Die Wärme, welche 1 Pfund Wasser um 1° zu erhöhen vermag, entspricht einer Kraft, welche 1300 Pfund 1 Fuß hoch hebt. — Bei chemischen Verbindungen steht die Wärme mit der mechanischen Energie im Verhältniß.

1. Von der Veränderung des Volumens der Körper durch die Wärme.

182. Die Wärme wirkt auf die Körper auf zwei von einander verschiedene Arten; sie verändert nämlich entweder ihr Volumen oder ihren Aggregatszustand (§ 3). Im ersten Falle wirkt sie auf das Gefühl und das noch zu erklärende Thermometer, und heißt **freie** Wärme, im zweiten wirkt sie auf keines von beiden und heißt **gebundene** Wärme.

1) Für die freie Wärme gilt das Gesetz, daß jeder Körper bei zunehmender Wärme auch an Volumen zunimmt, und umgekehrt, bei abnehmender Wärme auch an Volumen abnimmt, welches man gewöhnlich so ausdrückt: Wärme dehnt die Körper aus, Kälte zieht sie zusammen. Dabei dehnen sich die luftförmigen am stärksten, die flüssigen weniger stark und die festen am wenigsten aus, wenn sie gleicher Wärme ausgesetzt werden, so werden z. B.

1000 Kubikfuß	Luft	bis zu	1366,5 nach Regnault und Magnus,
1000 —	Wasser	—	1042 nach Kopp,
1000 —	Eisen	—	1001,1 ausgedehnt,

wenn ihre Temperatur von 0 bis 100 Grad nach dem Zentesimal-Thermometer erhöht wird.

2) Außerdem dehnen sich wieder die festen und die flüssigen, mit einander verglichen, verschieden stark aus; während alle Luftarten gleich stark ausgedehnt zu werden scheinen. Betrachten wir endlich die Ausdehnungen eines und desselben Körpers, wenn die Wärme immer um dieselbe Größe zunimmt, welche Temperatur er sonst auch immer haben mag, so dehnen sich die luftförmigen und wahrscheinlich auch die festen Körper gleichförmig aus, die flüssigen aber nehmen

mehr oder weniger an Ausdehnbarkeit zu, einen je höheren Grad von Wärme sie schon erlangt haben. Das Quecksilber dehnt sich vom Gefrier= bis zum Siedepunkt des Wassers fast gleichförmig aus.

Eine schlaff zugebundene Blase, der Wärme ausgesetzt, dehnt sich aus; Quecksilber, Wasser, Oel u. s. w. steigen, in einer Röhre erwärmt, in die Höhe. Eine eiserne Kugel fällt durch einen eisernen Ring von etwas kleinerem Durchmesser hindurch, sobald dieser erwärmt worden ist; und bleibt auf einem eisernen Ringe von einem etwas größeren Durchmesser liegen, wenn sie selbst erwärmt wird; Kupfer dehnt sich mehr als Eisen aus; es muß sich daher ein Doppelstab, welcher aus zwei an einander geschraubten, gleich langen Stäben aus Kupfer und Eisen besteht, krümmen, wenn er einer größeren Wärme ausgesetzt wird, und zwar in der Art, daß das Eisen die konkave Seite bildet.

3) Eine scheinbare Ausnahme von jenem allgemeinen Gesetze machen auf der einen Seite der Thon, das Holz, das Obst u. a. m., welche sich, so lange sie noch nicht vollkommen trocken sind, durch die Wärme zusammenziehen; auf der andern Seite das Wasser, welches, indem es gefriert, sich ausdehnt. Jene Erscheinung beruht darauf, daß die Flüssigkeit aus den Poren durch die Wärme als Gas weggetrieben wird, und die Körpertheile in den leer gewordenen Poren näher zusammenrücken; und diese Erscheinung wird daraus erklärt, daß die Wassertheile, ehe sie gefrieren, sich erst krystallinisch ordnen müssen, wozu sie einen größeren Raum bedürfen.

Die ausdehnende Kraft des gefrierenden Wassers ist oft sehr groß; wenn Wasser in vollgefüllten und verschlossenen Flaschen gefriert, so werden diese gesprengt, während bei offenen nur ein Eiskörper zum Halse der Flasche heraustritt; eiserne Wasserleitungsröhren, Bomben, sogar Felsen sind durch gefrierendes Wasser gesprengt worden. Bäume bekommen im Winter oft Risse. Indem sich ein Körper durch die Wärme ausdehnt, wird er spezifisch leichter; daher sinkt ein fester Körper auf kaltem und heißem Wasser schwimmend ungleich tief ein. Da Wasser, indem es zu Eis wird, sich ausdehnt, so ist Eis leichter als Wasser und muß auf demselben schwimmen. Siehe § 189, 3.

183. Auf der Erfahrung, daß Wärme das Volumen der Körper ändert, und daß man also umgekehrt aus der Aenderung des Volumens eines Körpers auf eine Aenderung seiner Wärme schließen könne, beruhen die **Thermoskope** und **Thermometer** oder **Wärmemesser**. Zu Thermometern können Körper aus allen Aggregatszuständen genommen werden, doch sind am meisten die **Quecksilberthermometer** im Gebrauch, weniger die **Luft=**, **Weingeist=** und **Metallthermometer**.

Das Thermometer ist um das Jahr 1630 von **Kornelius Drebbel**, einem holländischen Landmanne, erfunden worden. Auch **Sanktorius**, ein berühmter Arzt in Padua, wird oft als Erfinder genannt. Das erste Thermometer war ein Luftthermometer.

Die **Metallthermometer** sind entweder Metallstangen, die durch ihre Verlängerungen Zunahme und durch ihre Verkürzungen Abnahme der Wärme anzeigen; oder sie sind aus mehreren sich ungleich stark ausdehnenden Metallen zusammengesetzte und schrauben=

förmig gewundene Streifen, die sich auf- und zudrehen, je nachdem die Wärme zu- oder abnimmt. Bei jenen sind ein Hebel und eine in Grade getheilte Scheibe, bei diesen ein Zeiger und eine solche Scheibe nöthig, um die Veränderungen im Volumen der Körper sichtbar zu machen und mit einander hinsichtlich der Größe zu vergleichen. — Die Luftthermometer, am tauglichsten, hohe Temperaturen zu messen, geben immer unsichere Resultate. Eine der gewöhnlichsten Formen derselben ist die, daß eine lange Glasröhre an dem einen Ende offen, am andern umgebogen und mit einer ziemlich großen Kugel versehen ist. Diese Röhre wird mit Quecksilber soweit gefüllt, daß es in der Kugel etwa zur Hälfte steht. Die in der Kugel eingeschlossene, über dem Quecksilber sich befindende Luft dehnt sich bei Zunahme der Wärme aus und bewirkt ein Fallen des Quecksilbers in der Kugel und ein Steigen desselben in der Röhre; bei Abnahme der Wärme findet natürlich genau das Umgekehrte statt. Dieselben Erscheinungen können aber auch durch veränderten Druck der Atmosphäre, das Steigen in der Röhre nämlich durch Abnahme und das Fallen durch Zunahme des Luftdruckes; endlich aber auch durch eine gleichzeitige Aenderung im Drucke und in der Wärme der Atmosphäre hervorgebracht werden. Außerdem erleidet auch das Quecksilber, das hier gar nicht die eigentliche thermoskopische Substanz vorstellt, Ausdehnungen und Zusammenziehungen, die von Einfluß sein können, wenn man auch die verhältnißmäßig kleinen des Glases selbst unbeachtet lassen kann. — Die Weingeistthermometer von der Art, wie die bald zu erklärenden Quecksilberthermometer, können nur gebraucht werden, niedere Wärmegrade zu messen, da der Weingeist schon bei etwas hohen Graden verdampft.

184. 1) Die Quecksilberthermometer sind die gebräuchlichsten. Man erhält ein solches Thermometer, wenn man eine wohl kalibrirte enge Röhre mit einer an einem Ende angeblasenen Kugel nimmt; diese und den unteren Theil der Röhre mit Quecksilber füllt, den oberen Theil möglichst luftleer macht und oben zuschmilzt. Bei Zunahme der Wärme dehnt sich das Quecksilber aus, und muß sich nach oben erheben, da es sich, im Rohre eingeschlossen, nach keiner andern Seite hin bewegen kann; bei Abnahme der Wärme zieht es sich zusammen und muß in der Röhre sinken. Um das Steigen und Sinken genau zu bestimmen, muß ein bestimmter Punkt da sein, auf welchen die Bewegungen des Quecksilbers bezogen werden, und um verschiedene Thermometer in dieser Beziehung mit einander zu vergleichen, ist noch ein zweiter Punkt nöthig, und beide müssen bei allen Thermometern genau auf dieselbe Art bestimmt werden. Diese zwei Haupt- oder Fundamentalpunkte sind der Eis- oder Gefrierpunkt und der Koch- oder Siedepunkt, von denen man jenen durch Eintauchen des Thermometers in schmelzendes Eis oder aufthauenden Schnee, diesen durch Eintauchen in kochendes oder siedendes destillirtes Wasser erhält.

Da der Druck der Atmosphäre auf die Höhe des Kochpunktes von Einfluß ist (§ 189), so sollte auf jedem Thermometer der Barometerstand, bei welchem seine Fundamentalpunkte bestimmt worden sind, angemerkt sein, um durch Rechnung alle Thermometer auf einen und denselben Barometerstand reduziren zu können. Der Vorzug des Quecksilbers vor andern thermoskopischen Substanzen gründet sich theils auf seine sich fast gleichbleibende Ausdehnung und Zusammenziehung bei höheren und niederen Wärmegraden, theils darauf, daß es während eines großen Temperatur-Wechsels seinen flüssigen Aggregatszustand behält, da es einer schon bedeutend hohen Temperatur zur Verwandlung in Gas (+ 288° R.), und einer nicht unbedeutend niedrigen Temperatur zur Verwandlung in einen festen Körper (— 32° R.) bedarf.

2) Alle Quecksilberthermometer werden jetzt auf die angeführte Art verfertigt und unterscheiden sich von einander lediglich dadurch, daß nicht bei allen die Fundamentalentfernung, d. i. der Raum zwischen dem Eispunkte und dem Siedepunkte, in dieselbe Anzahl gleicher Theile, welche Grade heißen, getheilt wird. Auf dem Theile der Röhre unter dem Eispunkte, sowie über dem Siedepunkte werden so große Grade, als sie die Fundamentalentfernung enthält, aufgetragen. Die Grade über dem Eispunkte heißen Wärmegrade, die unter demselben Kältegrade; jene werden in der Schrift mit +, diese mit — bezeichnet. Die Eintheilung, Skale genannt, wird entweder in die Glasröhre mit Flußspathsäure eingeätzt, auch eingeschliffen, oder sie ist auf einem besondern Glas-, Metall- oder Holzstreifen, auf welchem die Röhre befestigt ist, aufgetragen oder gar auf Papier gezeichnet, welches sich in einer anderen weiteren, die Thermometerröhre umgebenden Glasröhre befindet.

3) Wir merken uns hier von den Quecksilberthermometern die vier gebräuchlichsten Arten:

a) Das Réaumur'sche oder das Thermometer mit der achtzigtheiligen Skale, vorzüglich in Deutschland gebräuchlich. Der Eispunkt ist mit 0, der Siedepunkt mit 80 bezeichnet. + 18° R. heißt: 18 Grade Wärme nach Réaumur, so wie — 18° R.: 18 Grade Kälte nach Réaumur.

b) Das Celsius'sche oder Zentesimalthermometer, oder das Thermometer mit der hunderttheiligen Skale, vorzüglich in Schweden und Frankreich gebräuchlich, hat am Eispunkte 0, am Siedepunkte 100 stehen. ± 18° C.

c) Das in England vorzugsweise gebrauchte Fahrenheit'sche, dessen Fundamentalentfernung 180 Grad hat, welches aber am Eispunkte nicht mit 0, sondern mit 32, am Siedepunkte nicht mit 180, sondern mit 212 bezeichnet ist. Es giebt nämlich auf dieser Skale zwei Gefrierpunkte, einen natürlichen, der mit dem Nullpunkte der beiden vorhergehenden Skalen zusammenfällt, weil er auf dieselbe Art bestimmt worden ist, und einen künstlichen, als denjenigen Punkt, bis zu welchem das Quecksilber sinkt, wenn das Thermometer in eine sogenannte kaltmachende Mischung aus Schnee und Salmiak getaucht

wird, und welcher 32 Grade dieser Skale unter dem natürlichen Eispunkte liegt. Vom künstlichen Eispunkte fängt man bei dieser Skale an zu rechnen; er ist daher mit 0, der natürliche aber mit 32, und der Siedepunkt mithin mit 32 + 180 = 212 bezeichnet. + 50° F. = + 8° R. = 10° C.; — 4° F. = — 16° R. = — 20° C. — Dieses Thermometer war, wie das von Réaumur, ursprünlich ein Weingeist=thermometer.

d) Das zum Theil in Rußland gebräuchliche de l'Isle'sche, dessen Fundamentalentfernung 150 Grade enthält, und bei welchem der Siedepunkt mit 0 und der Eispunkt mit 150 bezeichnet ist.

4) Man muß es verstehen, die Grade einer Skale auf die einer anderen zu verwandeln. Diese Verwandlung, welche sich darauf gründet, daß eine und dieselbe Fundamentalentfernung nach Réaumur 80°, nach Fahrenheit 180°, nach Celsius 100° u. s. w. enthält, ist sehr leicht; so steht z. B. für die Thermometer:

von R. und F.			von C. und F.			von C. u. R.		
80° R.	=	180° F.	100° C.	=	180° F.	100° C.	=	80° R.
8°	=	18°	10°	=	18°	10°	=	8°
4°	=	9°	5°	=	9°	5°	=	4°
1°	=	$^9/_4$°	1°	=	$^9/_5$°	1°	=	$^4/_5$°
$^4/_9$°	=	1°	$^5/_9$°	=	1°	$^5/_4$°	=	1°;

sind nun 28° R. in F.° zu verwandeln, so setze man:

$4 : 9 = 28 : x$; also $x = 9 \cdot \frac{28}{4} = 63$; und da F den 0=Punkt 32° tiefer setzt, 28° R. = 63 + 32 = 95° F., um es in C zu verwandeln 4 : 5 = 28 : y; also y = 35 und 28° R. = 35° C. oder wenn man darauf, daß F einen andern Nullpunkt setzt, keine Rücksicht nimmt, da 1° R. = $^9/_4$° F., so multiplizire man, so oft R.° in F.° zu verwandeln sind, die gegebene Zahl mit $^9/_4$, d. h. man multiplizire sie mit 9 und dividire hierauf das Produkt mit 4; und da 1° F. = $^4/_9$ R., so multiplizire man, so oft F.° in R.° zu verwandeln sind, die gegebene Zahl mit $^4/_9$, d. h. man multiplizire sie mit 4 und dividire das Produkt mit 9. Hieraus ziehen wir die allgemeine Regel: so oft größere Grade in kleinere, d. h. die Grade einer wenigertheiligen Skale in die einer mehrtheiligen, zu verwandeln sind, multiplizire man mit der größeren und dividire mit der kleineren Verhältnißzahl zwischen den beiden betrachteten Skalen; im entgegengesetzten Falle wird mit der kleineren Verhältnißzahl multiplizirt und mit der größeren dividirt.

5) Von der Verwandlung der Grade einer Skale auf die einer anderen schlechtweg ist die Bestimmung, mit welchen Zahlen ein und derselbe Punkt auf den verschiedenen Skalen bezeichnet ist, dann verschieden, wenn man bei den betrachteten Skalen nicht von demselben

Punkte zu zählen anfängt, z. B. bei der F.= und R.= oder F.= und C.=Skale; dagegen ist mit jener Verwandlung auch diese Bestimmung gegeben bei denjenigen Skalen, bei welchen man von demselben Punkte zu zählen beginnt, z. B. bei der C.= und R.=Skale.

A. Mit welcher Zahl ist auf F.=Skale der Punkt bezeichnet, der auf R.=Skala a) die + 28, b) die — 28) und c) die — 8 hat? Man sagt a) 28^0 geben $\frac{28 \cdot 9}{4} = 63^0$ F., da man aber auf der F.=Skale nicht vom natürlichen, sondern von dem 32. Grade niedriger gelegenen künstlichen Gefrierpunkte zu zählen anfängt, so erhält man 63 + 32 = 95, und zwar + 95 als die gesuchte Bezeichnung jenes Punktes; also $+ 28^0$ R. = $+ 95^0$ F.; b) — 28^0 R. geben $\frac{28 \cdot 9}{4} = 63^0$ F.; da aber F. vom künstlichen Gefrierpunkte, der 32 seiner Grade niedriger liegt, zu zählen anfängt, so ist bei F. die gesuchte Bezeichnung 63 — 32 = 31 und zwar — 31; also — 28^0 R. = — 31^0 F. — c) Fahrenheits künstlicher Gefrierpunkt liegt bei — $14^2/_9{}^0$ R.; denn 32^0 F. = $\frac{32 \cdot 4}{9}$ R.; eine Kälte bis $14^2/_9{}^0$ R. ist also bei F. noch Wärme. Wo R. — 8 hat, hat F. + 14; denn: 8^0 R. = 18^0 F. und 18 — 32 = — 14, d. h. die Bezeichnung 14 ist wegen des Minuszeichens entgegengesetzt zu nehmen, nicht als Kälte=, sondern als Wärmegrade, also — 8^0 R. = $+ 14^0$ F. .

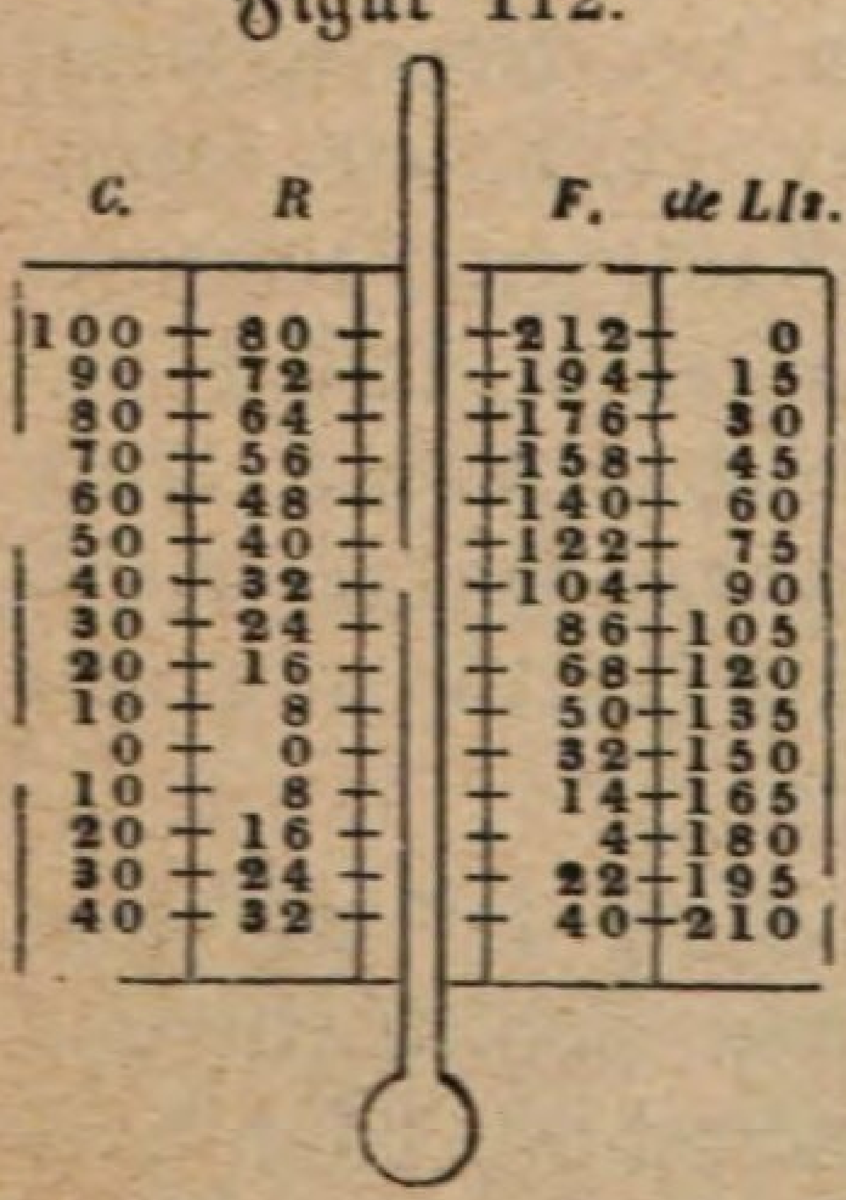
B) Wird dagegen gefragt, mit welcher Zahl ist auf der R.=Skale der Punkt bezeichnet, dessen Bezeichnung auf der F.=Skale ist a) + 95, b) + 14 und c) — 31, so setzt man:

a) 95 — 32 = 63, wodurch man auf den Punkt kommt, von welchem R. zu zählen anfängt, und nun erst sagt man: 63^0 F. = $\frac{63 \cdot 4}{9} = 28^0$ R. und zwar $+ 28^0$ R., also $+ 95^0$ F. = $+ 28^0$ R. —

b) 14 — 32 = — 18 und $\frac{— 18 \cdot 4}{9} = — 8$, welche Bezeichnung wieder entgegengesetzt zu nehmen ist, nicht als Wärme, sondern als Kälte, also $+ 14^0$ F. = — 8^0 R. c) 31 + 32 = 63^0 = der Entfernung des Punktes vom natürlichen Gefrierpunkte, von wo R. zu zählen anfängt, nach unten, und nun erst sagt man:

63^0 F. = $\frac{63 \cdot 4}{9} = 28^0$ R. und zwar — 28^0 R., also — 31^0 F. = — 28^0 R.

Figur 112.



Bei der Vergleichung der Skale von F. und C. würde man in dieser Beziehung eben so verfahren, nur daß die Verhältnißzahlen 5 und 9 sind; überhaupt kann

man alle diese Verwandlungen kurz nach folgenden Formeln vornehmen, worin R., F. und C. mit + oder — zu setzen sind, je nachdem es Wärme- oder Kältegrade sind. (Figur 112, s. S. 208.)

R. Bezeichnung in F. zu verwandeln, steht: $F.^0 = \frac{R.^0 . 9}{4} + 32$

R. " " C. " " " $C.^0 = \frac{R.^0 . 5}{4}$

F. " " R. " " " $R.^0 = \frac{(F.^0 - 32) . 4}{9}$

F. " " C. " " " $C.^0 = \frac{(F.^0 - 32) . 5}{9}$

C. " " R. " " " $R.^0 = \frac{C.^0 4}{5}$

C. " " F. " " " $F.^0 = \frac{C.^0 . 9}{5} + 32.$

185. 1) Zur Bestimmung sehr hoher Grade von Hitze, wie in den Brennöfen, den Steingut- und Porzellanfabriken, dienen die Pyrometer, Feuermesser oder Gluthmesser, von denen das Wedgwood'sche Thonpyrometer das bekannteste ist. Die pyrometrische Substanz ist der Thon, der, wie schon bekannt (§ 182, 3), bei zunehmender Wärme am Volumen abnimmt, was man Schwinden nennt. Kleine Würfel von solcher Größe, daß sie bei Rothglühhitze des Eisens 0,5 Zoll zur Seitenlänge erhalten, werden der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, und dann zwischen zwei etwa 6 Zoll lange Metallstäbe, die so konvergent gegen einander liegen, daß sie an dem einen Ende um 0,5, an dem anderen aber nur um 0,3 Zoll von einander entfernt sind, geschoben. Je weiter jene sich hineinschieben lassen, einer desto größern Hitze müssen sie ausgesetzt gewesen sein. Die Skale auf den Metallstäben enthält 240 Grade. Der Nullpunkt ist die Rothglühhitze des Eisens, d. i. 464° R., oder 1076° F., und jeder Grad des W. Pyrometers ist = 58° R. = 130,5° F. Die Resultate dieses Pyrometers sind indessen insofern unzuverlässig, als Thon, einer gelinden Hitze lange Zeit ausgesetzt, sich eben so stark zusammenzieht, als wenn er einer starken Hitze kurze Zeit ausgesetzt gewesen wäre; auch ist es schwierig, Thonwürfel oder Cylinder — wie W. später vorschlug — von derselben Masse, daß sie sich genau in demselben Maße ändern, zu erhalten.

2) Um kleine Veränderungen in der Wärme zu messen, dienen das Thermoskop von Rumford und das Differentialthermometer von Leslié, deren thermoskopische Substanz Luft ist, und die insofern den Luftthermometern beigezählt werden müssen.

Unser Gefühl ist ein sehr unsicheres Thermoskop. — Ein und dasselbe Wasser erscheint uns verschieden warm, je nachdem wir einen gewöhnlich bedeckten oder unbedeckten Theil des Körpers hineintauchen. Kranke und Gesunde

urtheilen verschieden über die Wärme eines und desselben Zimmers; Keller halten wir im Winter für wärmer als im Sommer.

3) Das Maximumthermometer hat die Bestimmung, den höchsten, so wie das Minimumthermometer den tiefsten Temperaturgrad während eines gewissen Zeitraumes, auch nach Verlauf desselben, anzuzeigen. Diese Thermometer, welche auch Thermometrographen heißen, liegen horizontal; jenes ist mit Quecksilber, dieses mit Weingeist gefüllt; in jenem befindet sich ein Zylinderchen von Eisen oder Fischbein, in diesem von Glas. Wenn sich in jenem das Quecksilber ausdehnt, treibt es das eiserne Zylinderchen vor sich und läßt dasselbe, wenn es sich wieder zurückzieht, an der Stelle der höchsten Temperatur liegen; wenn sich aber in diesem der Weingeist zusammenzieht, nimmt er das gläserne Zylinderchen mit sich, wegen der großen Adhäsion zwischen Glas und Weingeist, und wenn er sich darauf wieder ausdehnt, läßt er es, darüber weggehend, an der Stelle der niedrigsten Temperatur liegen.

Thermometrographen zur Bestimmung der Temperatur in verschiedenen Tiefen des Meeres. Geothermometer.

2. Von der Verbreitung der Wärme.

186. Die freie Wärme wird von einem Körper zum andern entweder durch Leitung (Fortleitung) oder Strahlung (Ausstrahlung) fortgepflanzt. (§ 188.) Bei der ersten Art der Fortpflanzung geschieht die Verbreitung der Wärme längs der Dimensionen der Körper im Inneren ihrer Materie, bei der zweiten dagegen durch den Raum nach allen Seiten in geraden Linien. Nach der Art der Verbreitung der Wärme unterscheidet man daher fortgeleitete und strahlende Wärme. Ueber die erstere ergiebt die Erfahrung zunächst Folgendes:

1) Wiewohl alle Körper Wärme annehmen und sie in sich nach allen Seiten verbreiten oder Wärmeleiter sind, so giebt es doch einen auffallenden Unterschied in Hinsicht der Schnelligkeit, mit welcher sie die Wärme annehmen, in sich fortpflanzen und sie wieder anderen Körpern abgeben. Darauf beruht der Unterschied zwischen guten und schlechten Wärmeleitern. Gute Wärmeleiter nennen wir alle Körper, welche dargebotene Wärme schnell annehmen, sie schnell durch sie durchführen und sie eben so schnell anderen Körpern abgeben, also schnell erkalten; schlechte Wärmeleiter sind dagegen alle Körper von entgegengesetzter Beschaffenheit.

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle, und zwar in folgender Ordnung, worin jedoch die Physiker noch nicht ganz übereinstimmen: Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Platina, Eisen, Stahl, Blei, so daß Silber am besten, Blei am schlechtesten die Wärme leitet; weniger gute Leiter sind: die Steine, die Ziegel, das Glas — schlechte Wärmeleiter sind: Federn, Haare, Wolle, Stroh, Heu, Holz, Kohlen, Horn, die Flüssigkeiten und Gase; vorzüglich schlechte der Schnee

und die ruhende Luft. Wenn man eine Stange Silber und eine eben so lange Stange Holz, von denselben Dimensionen, an dem einen Ende derselben Wärme gleiche Zeit aussetzt, so wird am andern Ende das Silber mehr Wärme zeigen als das Holz.

2) So oft Wärme schnell verbreitet werden soll, werden gute Wärmeleiter gebraucht, und so oft sie irgendwo zurückgehalten werden soll, bedient man sich zur Umschließung des Raumes der schlechten Wärmeleiter.

Betten, Pelze, wollene Kleider u. s. w. halten uns warm. Hölzerne, mit Stroh gedeckte Lehmhütten sind im Winter wärmer, als gemauerte, mit Schindeln gedeckte Häuser; metallene Geschirre werden mit hölzernen Griffen versehen; Bäume, Weinreben und Wasserpumpen werden im Winter mit Stroh umwickelt; vor die Kellerfenster wird Stroh oder Mist gelegt; die Eisgruben werden mit Holz ausgeschlagen; eiserne Oefen haben vor den Ziegel- und Kachelöfen den Vorzug, wenn es sich um schnelle Heizung handelt; diese aber vor jenen, wenn die Heizung lange andauern soll; die Wiederbelebung erfrorener Glieder mittelst Schnee; der Nutzen der Doppelfenster, doppelter Hemden; wenn der Müller, sobald die erste Eisdecke gefroren ist, einen Theil des Wassers abfließen läßt, entsteht zwischen der Eisdecke und dem übrigen Wasser eine Luftschichte, welche das fernere Gefrieren desselben hindert. Ein Räucherkerzchen, auf Holz gelegt, brennt ganz aus, nicht aber, wenn es auf Metall liegt; glühende Kohlen kann man in der Hand auf untergestreuter Asche tragen; um ein auf einen warmen Ofen gestelltes Glas vor dem Zerspringen, was Folge der ungleich großen Ausdehnung des unteren und des oberen Theiles ist zu schützen, legt man Papier unter; man kann Wasser in papiernen, aber nicht in hölzernen Gefäßen kochen, so wie Blei auf einer Spielkarte schmelzen; auch schmilzt ein zinnerner Löffel, so lange Wasser darin ist, nicht. Papierne Ofenschirme sind besser, als gläserne oder metallene; — doppelt papierne, so daß eine dünne Luftschichte eingeschlossen ist, besser als einfache.

3) Die Verbreitung der Wärme in flüssigen und luftförmigen Körpern unterscheidet sich von der in festen Körpern, wenn sie von unten erwärmt werden, vornehmlich dadurch, daß nicht blos jeder erwärmte Theil allen ihn berührenden Theilen Wärme auf gewöhnliche Weise, wenn auch nur langsam, mittheilt, sondern daß auch die unteren Schichten, welche zunächst erwärmt und dadurch spezifisch leichter geworden sind, sich erheben, und indem sie die oberste Stelle zu gewinnen suchen, die ganze Flüssigkeit erwärmen. Die dadurch in der Flüssigkeit entstandene Strömung läßt sich sichtbar machen, wenn man in Glasgefäßen Wasser, in welches Sägespähne gelegt worden sind, vorsichtig erwärmt.

Eine niedrige Stube heizt sich leichter, als eine hohe; in jeder geheizten Stube nimmt die Wärme mit der Höhe zu; durch die Luftströmung nach oben kann man auf einem geheizten Ofen zweckmäßig eingerichtete und aufgestellte Körper in Kreisbewegung setzen; Luftheizung (Meissner); die Flamme eines brennenden Lichtes, in der geöffneten Thüre eines geheizten Zimmers gehalten, wird oben nach außen, unten nach innen geblasen, während sie etwa in der Mitte die senkrechte Lage annimmt; es ist vortheilhafter, auf einem Bleche, als auf einem Herde zu kochen; die Töpfe mit überall gleicher Weite sind den bauchförmigen vorzuziehen. — Die Temperatur der Atmosphäre nimmt mit der Höhe ab, die der Erdrinde nimmt mit der Tiefe zu, bei je 100′ um 1 Grad; die des Meerwassers nimmt mit der Tiefe ab bis etwa 3° R., dem Zustande der größten Dichtigkeit.

187. Die Leitung der Wärme geschieht durch alle Körper ohne Ausnahme, wenn auch mit verschiedener Geschwindigkeit; die Strahlung geschieht nicht nur durch die Luft, wie man sonst glaubte, und zwar ohne sie zu erwärmen, sondern auch durch viele andere Körper, wie neuere Entdeckungen, besonders die von Melloni, beweisen. Die Hauptsätze über die strahlende Wärme, die fast in allen Beziehungen mit dem Lichte übereinstimmt, sind etwa folgende:

a. Die Wärmestrahlen, welche einen Körper treffen, werden theils von seiner Oberfläche zurückgeworfen, theils dringen sie durch ihn durch, theils endlich werden sie von dessen Materie absorbirt. Man spricht daher bei einem Körper in Bezug auf die strahlende Wärme außer von seinem Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen überhaupt auch noch von seinem Zurückwerfungs- oder Reflexionsvermögen, von seinem Durchlassungs- oder Transmissionsvermögen und von seinem Eindring- oder Absorptionsvermögen.

b. Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme geschieht in geraden Linien, wie die des Lichtes, denn ein zwischen die Kugel eines Differentialthermometers und ein erwärmtes Metall gebrachtes Schirmchen verhindert die Bewegung der Flüssigkeit, welche aber sofort bei Wegnahme desselben erfolgt. Wir sprechen daher von Wärmestrahlen wie von Lichtstrahlen. Die Geschwindigkeit der Wärmestrahlen ist gleich der Geschwindigkeit der Lichtstrahlen, und auch die Intensität der Wärmestrahlen nimmt ab, wie die Quadrate der Entfernungen von der Wärmequelle zunehmen.

c. Einen sehr merkwürdigen Einfluß auf das Ausstrahlungsvermögen der Körper hat außer der Temperatur die Beschaffenheit der Oberfläche derselben. Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein Körper die Wärme desto besser ausstrahlt, je höher seine Temperatur, je dunkler und je weniger glatt und polirt, je rauher also seine Oberfläche ist.

Nach Lesli'é ist das Strahlungsvermögen für

Lampenruß	100	Mattes Blei	45
Wasser	100	Quecksilber	20
Schreibpapier	98	Polirtes Blei	19
Glas	99	Polirtes Eisen	15
Chinesische Tusche	88	Zinn, Silber, Kupfer, Gold	12
Eis	85		

Lesliés Versuch mit einem hohlen, warmes Wasser enthaltenden metallenen Würfel, dessen eine Seite sehr glatt, die zweite matt geschliffen, die dritte mit Goldschlägerplättchen bedeckt und die vierte geschwärzt war. Weiße Oefen geben die Wärme langsamer ab, als schwarze, so wie unglasirte thönerne Oefen eine Stube schneller erwärmen, als glasirte; in recht glatt polirten Metallgefäßen bleibt warmes Wasser länger warm, als wenn die Oberflächen rauh sind; Röhren, die durch Wasserdampf oder erwärmte Luft Zimmer heizen, sind an denjenigen Stellen, wo die Mittheilung der Wärme stattfinden soll, mit Lampenruß oder Graphit überzogen; und wo sie möglichst vermieden werden soll, recht gut polirt.

d. Die Zurückwerfung der Wärmestrahlen befolgt die Gesetze der Zurückwerfung der Lichtstrahlen. Das beweisen die Versuche von Saussüre und Piktet mit zwei großen Hohlspiegeln, welche in einer Entfernung von 10 bis 12 Fuß so gestellt werden, daß ihre Achsen in eine gerade Linie fallen. Wird in dem Brennpunkte des einen eine Lichtflamme oder eine heiße Metallkugel, in dem des anderen die Thermometerkugel gehalten, so steigt das Quecksilber sichtbar; so wie durch eine glühende Holzkohle in dem einen Brennpunkte Zunder, Schwefel in dem anderen entzündet werden kann. Man kann diese Erscheinung nur nach den Regeln der Katoptrik erklären. Die aus dem Brennpunkte auf die zugehörige Spiegelfläche auffallenden Wärmestrahlen werden nämlich mit der Achse parallel zurückgeworfen, fallen also bei der angegebenen Stellung der Spiegel auch parallel mit der Achse auf die zweite Spiegelfläche, und werden daher von hier alle in den Brennpunkt dieser zweiten Spiegelfläche, in welchem sich der zu erwärmende Körper befindet, zurückgeworfen, und bewirken durch ihre Vereinigung die Erwärmung oder Zündung. — Die Wärmestrahlen werden von polirten Körpern, besonders von Metallen, am vollkommensten, wenn auch in verschiedenen Graden, zurückgeworfen; von nicht polirten werden sie, wie die Lichtstrahlen, nach allen Seiten zerstreut. (Diffusion der Wärmestrahlen, § 161.)

Brennspiegel — Reverberiröfen — Parabolische Nischen hinter den Stubenöfen.

e. Wärmestrahlen, welche ein Körper absorbirt, erhöhen die Temperatur desselben im Verhältnisse ihrer Menge. Je weniger Strahlen ein Körper zurückwirft, je weniger er durchläßt, und je mehr sich der Einfallswinkel dem Rechten nähert, desto stärker und schneller wird er erwärmt. Bleibt die Temperatur eines Körpers beständig dieselbe, so kann das nur die Folge davon sein, daß die Quantitäten der ausströmenden und einströmenden Wärme gleich sind, daß also sein Emissionsvermögen gleich ist seinem Absorptionsvermögen. Das stärkste Absorptionsvermögen von allen bekannten Körpern besitzt der Ruß.

Franklin's Versuch mit verschiedenfarbigen Tuchläppchen, die er bei Sonnenschein auf Schnee legte. — Versuche mit einem Bleche, welches auf einer Seite dünn mit Wachs überzogen ist, und auf der anderen Seite verschiedenfarbige; einige Zoll breite Streifen hat, und welches mit der gefärbten Seite der Sonne zugewendet wird. — Die Empfindlichkeit eines Thermometers wird sehr vermehrt, wenn die Kugel mit Lampenruß, dessen Absorptionsvermögen groß ist, geschwärzt wird; es ist gut, die Mauern, an denen Wein, Pfirsiche und anderes Obst gezogen wird, schwarz anzustreichen; im Sommer zieht man gern hellfarbige, im Winter dunkelfarbige Kleider an.

f. Hinsichtlich des Transmissionsvermögens ergeben die Versuche folgende Resultate:

Es giebt Körper, z. B. Steinsalz, welche die Wärmestrahlen so vollständig durchlassen, wie die durchsichtigen Körper die Lichtstrahlen. Melloni nennt sie universell-diathermane Körper.

Die meisten durchsichtigen Körper sind im Allgemeinen diatherman, wenn auch in verschiedenen Graden. Steinsalz ließ von einer Oelflamme, von glühendem Platina, von geschwärztem Kupfer von + 312°R., von siedendem Wasser in geschwärztem kupfernen Gefäße gleich viele Wärmestrahlen durch.

Es giebt Körper, welche gar keine Wärmestrahlen durchlassen, wie die undurchsichtigen keine Lichtstrahlen. Sie heißen **athermane Körper.**

Fast alle untersuchten, vollkommen undurchsichtigen Körper sind auch athermane; eine Ausnahme bilden schwarzes Glas und schwarzer Glimmer.

Es giebt endlich Körper, welche zwar die Wärmestrahlen von einigen Körpern, wenn auch in verschiedenen Mengen, durchlassen, von anderen aber gar nicht, die also in Bezug auf einige Wärmequellen diatherman, in Bezug auf andere atherman sind — wie es durchsichtige Körper giebt, welche nur die eine oder die andere Lichtart durchlassen und dadurch farbig erscheinen. Sie heißen **partiell-diathermane Körper.**

Kalkspath, Spiegelglas, Bergkrystall ließen vom in geschwärzten kupfernen Gefäßen siedenden Wasser keine Wärmestrahlen durch, wohl aber von dem erhitzten, geschwärzten Kupfer von 390° C., jedoch mehr vom glühenden Platina, die meisten von der Oelflamme. Gyps und Alaun zeigen sich gegen siedendes Wasser und gegen Kupfer atherman, gegen die Oelflamme und glühendes Platina aber diatherman, jedoch sehr schwach, besonders Alaun. Von den (a) festen Körpern ist Steinsalz am meisten, Alaun am wenigsten, von den (b) flüssigen Körpern Schwefelkohlenstoff am meisten und Wasser am wenigsten diatherman. Ist die Menge der durch die Luft gehenden Wärmestrahlen 100, so ist nach Melloni das Transmissionsvermögen der genannten vier Körper ausgedrückt a) durch 92 und 12, und b) durch 63 und 11.

g. Es giebt auch eine Brechung der Wärmestrahlen, wie eine Brechung der Lichtstrahlen. Wenn auch aus Versuchen, in denen man durch eine Oeffnung eines Schirmes auf ein Steinsalzprisma Wärmestrahlen auffallen ließ, und diese nach **einer** Richtung zufolge des Brechungsgesetzes abgelenkt fand, schon gewiß ist, daß die Wärmestrahlen aus verschiedenen Wärmequellen verschieden stark gebrochen werden, z. B. die von der Oelflamme stärker, als die von glühendem Platina, so kennt man doch bis jetzt noch kein bestimmtes Gesetz.

Brenngläser. — Diathermane Linse von Steinsalz. — Das **Wärmespektrum** ist für Prismen von verschiedener Materie auch verschieden: bei einem Steinsalzprisma nimmt die Temperatur vom Violett bis zum Roth und noch bedeutend hinaus zu, so daß die wärmste Stelle im dunklen Raume liegt, während diese bei einem Kronglasprisma im Roth, bei einem Flintglasprisma schon außerhalb desselben, bei einem mit Wasser gefüllten im Gelben und bei einem mit Schwefelsäure gefüllten im Orange liegt. Der hierbei von Melloni gebrauchte Apparat (§ 229) kann erst später beim Thermomagnetismus erklärt werden.

Auch eine Polarisation der Wärmestrahlen haben **Melloni** und **Forbes** nachgewiesen, so wie **Fizeau** und **Foucault** die Interferenz, und **Knoblauch** die Beugung derselben.

Durch die strahlende Wärme eines geheizten Ofens beginnen im Winter die gefrorenen Fenster aufzuthauen, ehe noch die Luft bis zu ihnen durch die fortgeleitete Wärme erwärmt sein kann. Stellen, die durch Schirme geschützt sind, bleiben unaufgethaut; eben so empfinden wir in Folge von Wärmestrah-

lung Hitze im Gesichte, wenn wir vor einem Kaminfeuer oder einem stark geheizten Ofen stehen. Mistbeete werden mit Glasfenstern bedeckt, so wie zarte Pflanzen mit Glasglocken; Treibhäuser sind auf der Südseite mit Glasfenstern versehen. Melloni hat eine Trennung von Licht und Wärme bewirkt. Sonnenlicht und irdisches Licht, welches er durch eine hinlänglich dichte Wasserschichte gehen ließ, zeigte nach seinem Durchgange, durch Linsengläser konzentrirt, wiewohl es die Intensität des Sonnenlichtes erhielt, keine Einwirkung auf das empfindlichste Thermometer. Sonnenlicht und irdisches Licht, welches er durch schwarzen Glimmer und schwarzes Glas gehen ließ, erfuhr die entgegengesetzte Veränderung, indem nur die Wärmestrahlen durchgingen. Dort absorbirte das Wasser die Wärmestrahlen, hier das Glas die Lichtstrahlen.

3. Von der Temperatur der Mischung gleich= und ungleichartiger Körper.

188. 1) Wenn zwei Körper von verschiedenen Temperaturen einander berühren, so theilt der wärmere dem weniger warmen so lange Wärme mit, bis beide gleiche Temperatur haben, und zwar geschieht diese Mittheilung desto schneller, je größer der Unterschied der Temperaturen war. Ein solcher Gewinn von Wärme auf der einen Seite und Verlust auf der andern Seite findet auch statt, wenn wir einen Körper berühren und ihn kalt oder warm finden. Jeder Körper, der weniger erwärmt ist, als unser Körper, und uns also bei der Berührung Wärme entzieht, erscheint uns kalt; warm dagegen, wenn er wärmer ist, und uns also Wärme abgicbt.

Die Beispiele von § 185 gehören hierher. Wenn zwei Hohlspiegel, so wie im § 187 d angegeben worden, aufgestellt werden, und in den einen Brennpunkt Eis, in den andern aber die Thermometerkugel gebracht wird, so sinkt das Thermometer — weil das Thermometer mehr Wärme ausstrahlt, als das Eis, mithin weniger Wärme erhält, als es abgiebt.

Von zwei gleich kalten Körpern erscheint uns der bessere Leiter, weil er uns die Wärme schneller entzieht, kälter.

Daher das ungleiche Gefühl, wenn man die Finger in Wasser und Quecksilber von derselben Temperatur steckt; daher scheint der eiserne Nagel im Fußboden kälter zu sein, als das ihn umgebende Bret, wenn wir beide gleichzeitig mit der Hand oder mit dem nackten Fuße berühren; daher die nasse Herbstkälte uns weit empfindlicher ist, als die trockene Winterkälte.

2) Wird nach der Temperatur der Mischung zweier ungleich erwärmter Körper gefragt, so müssen hierbei zwei Fälle unterschieden werden, je nachdem die Körper gleich= oder ungleichartig sind. Sind die zu vermischenden Körper gleichartig (Wasser und Wasser, Quecksilber und Quecksilber), so findet man die Temperatur der Mischung nach der Richmann'schen Regel. Sie lautet: Man multiplizire die Masse oder das Gewicht eines jeden Körpers mit seiner Temperatur, addire diese Produkte und dividire deren Summe mit der Summe aus den Gewichten oder Massen. Für zwei Körper steht daher, wenn M,m die Massen,

$x = \frac{Mt + mt}{M + m}$

T, t ihre Temperaturen und x die Temperatur der Mischung bedeutet:

$$x = \frac{MT + mt}{M + m}, \text{ woraus für } M = m$$

$$\text{folgt } x = \frac{M(T + t)}{2M} = \frac{T + t}{2}, \text{ d. h.}$$

sind die Massen gleich, so findet man die Temperatur der Mischung, wenn man das arithmetische Mittel der Temperaturen nimmt. Um so viele Grade also in diesem Falle des einen Körpers Temperatur erniedrigt wird, gerade um so viele wird die des andern erhöht, und so viel der eine an Wärme verliert, genau eben so viel gewinnt der andere. Auch erleiden gleichartige Körper von gleichen Massen und gleichen Temperaturen, derselben Wärme ausgesetzt, genau gleiche Temperaturerhöhungen.

3) Anders verhält es sich aber, wenn die zu vermischenden Körper ungleichartig sind. Da gewinnt oder verliert der eine Körper, wenn sie von gleichen Massen sind, mehr als der andere verloren oder gewonnen hat, und wenn sie gleiche Temperaturen haben, erleiden sie, derselben Wärme ausgesetzt, eine ungleiche Temperaturerhöhung. Die Eigenschaft ungleichartiger Körper von gleichen Massen durch dieselben Mengen von Wärme zu verschiedenen Temperaturen, oder durch verschiedene Mengen zu einerlei Temperatur erwärmt zu werden, heißt die Kapazität derselben für die Wärme oder Wärmekapazität, und die Menge der Wärme, welche die Körper dabei aufnehmen, heißt ihre spezifische Wärme. Man kann daher auch sagen: Diejenige Wärmemenge, welche ein Körper bei der Masse 1 (z. B. 1 Pfund) aufnimmt, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen, heißt seine spezifische Wärme. Dabei schreiben wir von zwei Körpern demjenigen die größere Wärmekapazität zu, der von derselben Menge von Wärme zu einem niederen Grade erwärmt wird, weil er mehr Wärme als der andere braucht, um mit ihm auf gleichen Grad erwärmt zu werden. Wärmekapazität und spezifische Wärme stehen im geraden Verhältnisse zu einander. — Nach chemischen Untersuchungen scheint ein Zusammenhang zwischen den Atom-Gewichten (§ 236) der Stoffe und ihrer Wärmekapazität stattzufinden.

Die Wärmekapazität des Wassers hat man zur Einheit gewählt, weil sie, welche Temperatur das Wasser auch haben mag, konstant ist, was nicht bei allen Körpern der Fall ist, z. B. das Platina von 0° auf 1° zu erhöhen, ist eine geringere Wärmemenge nöthig, als wenn es von 100° auf 101° erhöht werden soll.

Die Mischung aus 1 Pfund Wasser von 100° und 1 Pfund Quecksilber von 78° müßte, wenn die Richmann'sche Regel anwendbar wäre, die Temperatur von 89° haben, hat aber 99°; indem also die Temperatur des Wassers um 1°, von 100° auf 99° gesunken ist, ist die des Quecksilbers um 21°, von 78 auf 99° gestiegen. Eine Mischung aus 1 Pfund Wasser von 78° und

1 Pfund Quecksilber von 100° hat auch nicht die Temperatur von 89°, sondern nur von 79°. Das Wasser gewinnt also nur an Wärme 1°, da es von 78° auf 79° steigt, während das Quecksilber 21° verliert, da es von 100° auf 79° sinkt; daraus, daß 1° Verlust beim Wasser schon 21° Gewinn beim Quecksilber, und umgekehrt, daß 21° Verlust beim Qecksilber nur 1° Gewinn beim Wasser hervorbringt, schließen wir also, daß das Wasser 21 Mal mehr Wärme als Quecksilber von gleicher Masse brauche, um mit ihm auf gleichen Grad erwärmt zu werden, und wir sagen: Die Wärmekapazität, folglich auch die spezifische Wärme des Wassers, ist 21 Mal größer, als die des Quecksilbers; ist also die des Wassers = 1, so ist die des Quecksilbers = $^1/_{21}$ = 0,0476, nach andern Versuchen = $^1/_{30}$ = 0,0333, noch nach andern = $^1/_{33}$ = 0,0303.

1 Pfd. Wasser von 70° }
1 „ Leinöl von 100° } geben nicht 85°, sondern 80°, d. h.

ein Verlust von 20° beim Leinöl bringt beim Wasser nur einen Gewinn von 10° hervor, und

1 Pfd. Wasser von 100° }
1 „ Leinöl von 70° } geben nicht 85°, sondern 90°, d. h.

ein Verlust von 10° beim Wasser bringt beim Leinöl einen Gewinn von 20° hervor; es ist also die Wärmekapazität des Wassers doppelt so groß, als die des Leinöls.

1 Pfd. Wasser von 0° }
1 „ Eisen von 36° } geben 4° und

1 Pfd. Wasser von 36° }
1 „ Eisen von 0° } geben 32°,

also hat das Wasser eine 8 Mal größere Wärmekapazität, als das Eisen.

Heißt die spezifische Wärme eines Körpers s, d. i. die Wärmemenge für 1 Pfd. behufs einer Wärmeerhöhung von 1°, so sind für m Pfd. ms Wärmeeinheiten für 1° Erhöhung und mithin mst Wärmeeinheiten für t Grade Erhöhung nöthig. Werden nun zwei Körper von den Massen M, m, den Temperaturen T, t und den spezifischen Wärmen S, s zusammengebracht, so erhalten sie nach einiger Zeit eine gleiche Temperatur 𝔗. Hiernach ist die

Wärmemenge des einen Körpers = MST
„ „ andern „ = mst
„ der Mischung (M + m) = (MS + ms) . 𝔗,

und wenn nun bei der Mischung kein Verlust an Wärme stattgefunden hat, so ist

$$(MS + ms) . \mathfrak{T} = MST + mst.$$

In dieser Gleichung sind unmittelbar gegeben M, m, T, t und 𝔗 ergiebt sich durch die Beobachtung; ist nun auch die spezifische Wärme des einen Körpers (S oder s) bekannt, so ist die spezifische Wärme des andern (s oder S) leicht zu bestimmen.

Für das vorhergehende Beispiel, Wasser und Quecksilber betreffend, steht

$(1 . + 1 . s) . 99 = 1 . 1 . 100 + 1 . s . 78$, d. h. $99 + 99 . s = 100 + 78 . s$
$21 . s = 1$, also $s = {}^1/_{21}$,

oder:

$(1 . 1 + 1 . s) . 79 = 1 . 1 . 78 + 1 . s . 100$, d. h. $79 + 79 . s = 78 + 100 . s$
$1 = 21 s$, also $s = {}^1/_{21}$.

Für Wasser und Eisen:

$(1 . 1 + 1 . s) . 4 = 1 . 1 . 0 + 1 . s . 36$, woraus folgt $8 . s = 1$, also $s = {}^1/_8$,

oder:

$(1 . 1 + 1 . s)\ 32 = 1 . 1 . 36 + 1 . s . 0$, „ „ $8 . s = 1$, also $s = {}^1/_8$.

Wenn also gleichartige Körper von gleichen Massen am Thermometer gleiche Temperaturen zeigen, so sind wir berechtigt, anzunehmen,

daß sie gleiche Mengen von Wärme in sich haben, keinesweges können wir dieses aber bei derselben Erscheinung ungleichartiger Körper thun.

Diese Methode, die spezifische Wärme der Körper zu finden, heißt die Mischungsmethode, zum Unterschiede von der Methode des Eisschmelzens (4) und der Erkaltungsmethode (5).

4) Das Kalorimeter von Lavoisier und Laplace gründet sich darauf, daß von zu gleicher Temperatur erwärmten Körpern derjenige die meiste Menge Schnees von der Temperatur Null schmelzen muß, welcher die größte Menge Wärme in sich enthält. Ein Kasten ist in drei Räume so getheilt, daß diese in einander liegen; in den innersten oder ersten kommt der zu untersuchende Körper, in den zweiten, welcher den ersten ringsum einschließt, der von der Wärme jenes Körpers zu schmelzende Schnee von der Temperatur Null, und in den dritten, welcher den ersten und zweiten ringsum einschließt, wieder Schnee, der die Bestimmung hat, die Einwirkung äußerer Wärme abzuhalten. Das durch Schmelzung des inneren Schnees entstandene Wasser wird durch eine besondere Hahnvorrichtung ausgelassen, und aus seiner Menge auf die Wärmekapazität des untersuchten Körpers geschlossen. (Methode des Eisschmelzens.)

Findet man: 1 Pfd. Wasser von 64° R. schmilzt 1 Pfd. Eis; aber 1 Pfd. Eisen von 64° schmilzt im Kalorimeter $1/9$ Pfd. Eis, so ist die spezifische Wärme des Eisens $1/9 = 0{,}11$. — Wie oben beim Quecksilber bemerkt, stimmen die Resultate verschiedener Versuche noch nicht genau.

5) Auch hat man die Wärmekapazität fester und flüssiger Körper zu bestimmen gesucht aus der Zeit, die sie, zu gleichen Graden erwärmt, brauchen, um in der Temperatur um eine bestimmte gleiche Anzahl von Graden abzunehmen, indem man dabei voraussetzte, die Wärmekapazitäten verhielten sich zu einander, wie diese Zeiten. (Erkaltungsmethode.) Bei der Bestimmung der Wärmekapazitäten der Gase ging man davon aus, daß eines Gases Wärmekapazität desto größer sein müsse, eine je geringere Menge desselben von einer bestimmten Temperatur man mittelst gewundener Röhren durch Wasser zu leiten nöthig habe, um dieses in der Temperatur um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, wobei man voraussetzte, die Wärmekapazitäten verhielten sich zu einander, wie umgekehrt diese Mengen. Die Wärmekapazität der Luft ist etwa 0,25, weil die Wärme, welche ein Pfund Wasser von 0—80° R. erwärmt, auch vier Pfund Luft von 0—80° R. erwärmt.

Wärmekapazität des Eisens = 0,114; des Kupfers = 0,095; des Silbers = 0,057; des Platina = 0,032; des Blei = 0,031; des Quecksilbers = 0,033; des Schwefels = 0,203.

4. Von der Veränderung des Aggregatszustandes der Körper durch die Wärme.

189. 1) Bringt man in die warme Stube eine Schüssel voll Schnee und setzt in diesen ein Thermometer hinein, so nimmt dasselbe

zuerst die Temperatur des Schnees an; wenn aber durch die Wärme des Zimmers oder durch eine untergesetzte Spirituslampe der Schnee zum Schmelzen gebracht wird, so zeigt es Null Grad, bleibt dann dort stehen und zwar so lange, als nur noch ein Stückchen Schnee vorhanden ist. So wie die Schüssel lauter Wasser enthält, steigt auch bei fortgesetzter Erwärmung am Feuer das Thermometer wieder und zwar so lange, bis dieses Wasser bei 80° nach Réaumur zu kochen anfängt, wo es dann bei 80° so lange stehen bleibt, als noch nicht alles Wasser durch das Kochen in Dampf verwandelt ist. Würde nun dieser Dampf für sich wieder weiter erwärmt, so würde auch ein mit hinlänglich hoher Skale versehenes Thermometer sich weit über 80° erheben. Die von dem aufthauenden Schnee (von 0°) aufgenommene Wärme wurde also, da sie auf das Thermometer nicht wirkte, lediglich zur Verwandlung des Schnees in Wasser (wieder blos von 0°), so wie die vom kochenden Wasser (von 80° R.) aufgenommene Wärme lediglich zur Verwandlung des Wassers in Dampf (wieder von 80° R.), also überhaupt zur Verwandlung des Aggregatszustandes der Körper Schnee und Wasser, verwendet. Man nennt die Wärme in diesem Falle gebundene oder latente Wärme, während die auf das Gefühl und Thermometer wirkende freie Wärme heißt. (§ 182.)

Ein Körper kann nur so lange als thermoskopische Substanz dienen, als er seine Aggregatsform nicht ändert. — In fest geschlossenen Gefäßen, wo der Dampf nicht entweichen kann, läßt sich das Wasser weit über 80° R. erhitzen (4).

Eine solche Bindung von Wärme findet immer statt, so oft ein fester Körper flüssig, ein flüssiger luftförmig wird. Ein und derselbe Körper kann durch bloße Wärme alle drei Aggregatsformen annehmen. Eis, Wasser, Dampf ist immer derselbe Körper, aber mit verschiedenen Mengen von Wärme; Eis mit der wenigsten, Wasser mit mehr, Dampf mit der meisten Wärmemenge. Dampf wird auch durch Erkaltung, d. i. durch Entziehung von Wärme, zu Wasser, und dieses auf demselben Wege zu Eis. Was hier mit Wasser geschieht, geschieht durch die Wärme mit sehr vielen andern Körpern (§ 3), so daß man angenommen hat, alle luftförmigen würden flüssig und diese wieder fest werden, wenn ihre Temperaturen hinlänglich erniedrigt werden könnten, so wie umgekehrt, alle festen Körper flüssig, alle flüssigen luftförmig bei hinlänglich großer Erhöhung der Temperatur. Zusammengesetzte Körper werden durch Hitze in ihre Bestandtheile zerlegt — Zinnober in Quecksilber und Schwefel.

2) Indem der feste Körper flüssig, der flüssige luftförmig wird, wird Wärme gebunden, und da diese der Umgegend entzogen wird, so entsteht dadurch um den Körper Kälte; indem aber der luftförmige Körper flüssig, der flüssige fest wird, wird Wärme entbunden oder frei, und es entsteht dadurch in der Umgegend Wärme.

Dem aus dem Bade Steigenden ist kalt; man empfindet Kälte, wenn man mit Weingeist oder Aether die Hand netzt; wird die Thermometerkugel in einen angefeuchteten Schwamm gesteckt und hierauf das Thermometer in der

Luft bewegt, um einen Luftzug zur Beförderung der Verdunstung zu verursachen, so sinkt das Quecksilber; durch Wassersprengen werden im Sommer die Zimmer abgekühlt; nasse Kleider erkälten den Körper sehr; durch das Ausdünsten kühlen wir uns ab; Wasser, Wein und andere Getränke in Flaschen können im Sommer merklich abgekühlt werden, wenn um diese nasse Tücher gewickelt werden; in Italien, Spanien und Portugal hat man Kühlgefäße aus porösem Tone, der unglasirt gelassen wird, was zur Folge hat, daß die Flüssigkeit durch die Poren der Wände in kleinen Tropfen durchschwitzt, welche hierauf verdunsten und die warme Flüssigkeit abkühlen; in Ungarn kühlt man Wein ab, indem die Flaschen, in denen der Wein ist, in feuchte, lockere Erde gegraben werden und darüber Feuer angemacht wird; man kann Wasser über dem Feuer zum Gefrieren bringen, wenn man über das Feuer ein Gefäß mit Schnee, in welchem sich ein Schälchen mit Wasser befindet, bringt; heiße eiserne Töpfe werden mit nassen Tüchern angefaßt. — Wenn das Wasser gefriert, steht das Thermometer unmittelbar über der Eisfläche höher, als in größerer Entfernung; Wasserdampf erhitzt den Deckel eines Topfes, an welchem er sich zu Wasser verdichtet, sehr bedeutend; der ungelöschte Kalk wird beim Löschen erwärmt, weil das Wasser, indem es sich mit dem Kalk verbindet, in festen Zustand übergeht. Wird eine Flasche mit gefrorenem Weine in Wasser gethan, so thaut der Wein auf und das Wasser gefriert an den Wänden der Flasche; gefrorenes Quecksilber, in ein Glas mit Wasser gethan, thaut auf, während das Wasser gefriert. In Wollaston's Kryophorus wird Wasser in Eis verwandelt durch die mittelst Verdunstung seiner selbst entstehenden Kälte; unter der Luftpumpe kann durch die sogenannte Verdunstungskälte nicht nur Wasser, sondern auch Quecksilber zum Gefrieren gebracht werden.

3) Nun ist es auch klar, daß das Wasser und jede andere Flüssigkeit, sobald sie kocht, keine Wärme mehr annehmen, und mithin nicht heißer werden kann, indem alle noch zuströmende Wärme blos auf Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf verbraucht wird, also durch größeres Feuer auch nur diese Verwandlung beschleunigt werden kann. Der Siedepunkt oder Kochpunkt der verschiedenen Flüssigkeiten liegt eben so verschieden hoch, als ihr Gefrier- oder Frostpunkt verschieden tief; dasselbe gilt vom Schmelzpunkte fester Körper.

Eis schmilzt bei 0° R., Rindstalg bei 33° R., Butter bei 50° R. gelbes Wachs bei 49° R., aber weißes bei 54° R., Zinn bei 214° R. Blei bei 260° R., Silber bei 22° Wedgw., also = 22 . 58 = 1276° R., Gold bei 32° W., Gußeisen bei 125°—130° W., Stabeisen bei 155° W., Mangan und Nickel bei 160° W. — Aether siedet bei 29° R., Alkohol bei 63° R., Wasser bei 80° R., Leinöl bei 252° R., konzentrirte Schwefelsäure bei fast 262° R., Quecksilber bei 288° R. — Wasser gefriert bei 0° R., Quecksilber bei — 32° R., Alkohol unter — 45° R.

Beim Wasser zeigt sich eine sehr auffallende Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme. Indem es nämlich von 0° bis 4° C. (eigentlich 3,9°) erwärmt wird, zieht es sich zusammen, statt sich auszudehnen, was aber eintritt, wenn es weiter erwärmt wird; auch umgekehrt zieht es sich zusammen, von + 100° C. bis + 4°, und dehnt sich aus von + 4° bis 0°, von da an aber zieht es sich bei weiterer Abnahme der Wärme wieder zusammen. Das Wasser hat bei + 4° C. die größte Dichtigkeit und deshalb auch das größte Gewicht, aber bei 0° und + 8° gleiche Dichtigkeit. Das Wasser dehnt sich also vom Punkte seiner größten Dichtigkeit bis zu diesen Grenzen eben so durch Erkältung als durch Erwärmung aus. Ruhig stehendes Wasser (mit einer Oelschicht bedeckt) kann bis unter 10° R. erkältet werden; aber bei geringer Erschütterung gefriert es und zeigt dann 0°.

4) Der Siedepunkt der Flüssigkeiten ändert sich aber, sobald der Druck der Atmosphäre eine Aenderung erleidet. Je größer dieser, desto höher der Siedepunkt. Die aufsteigenden Flüssigkeitsbläschen haben nämlich den Druck der Atmosphäre und den der Flüssigkeitssäule zu überwinden.

Kocht das Wasser im Thale bei 80° R., so kocht es auf einem Berge bei einer desto niederen Temperatur, je höher er ist, z. B. auf dem Montblanc, der fast 14650' hoch ist, nach Beobachtungen Saussüre's, bei 70° R.; unter dem Rezipienten der Luftpumpe hat man das Wasser bei + 30° R., und in der Toricelli'schen Leere bei + 16° R. zum Kochen gebracht; im Pulshammer siedet das Wasser schon bei der Wärme der Hand; im Papin'schen Topfe (von Dionysius Papin 1680 erfunden) üben die eingeschlossenen Wasserdämpfe durch ihre Expansivkraft auf das Wasser einen so bedeutenden Druck aus, daß dieses zum Kochen einer ungewöhnlich hohen Temperatur bedarf, wodurch es möglich wird, in ihm Körper, die auf gewöhnliche Art nicht zerkocht werden können, wie Holz, Horn, Knochen, Elfenbein, zu zerkochen, ja selbst Blei ist in dem kochenden Wasser dieses Topfes geschmolzen worden. Auf einem Berge muß eine Speise, da das Wasser bei einer niederen Temperatur kocht, länger kochen als im Thale, um erweicht zu werden. Bunsen, Erklärung des Geiser-Phänomens. — Sieden des Zuckers bei verdünnter Luft. Thermometrische Höhenmessungen.

190. 1) Bei der Anwendung der Wasserdämpfe wird entweder die in denselben gebundene Wärme mittelst besonderer Apparate zum Trocknen, Heizen und Kochen, oder ihre Expansivkraft (Spannkraft) als bewegende Kraft bei den Dampfmaschinen benutzt, wobei zugleich der Dampf zur Hervorbringung eines luftleeren Raumes gebraucht wird, indem man ihn durch Berührung mit kalten Körpern zur Rückkehr in den flüssigen Zustand nöthigt.

Die Spannkraft der Dämpfe wächst mit ihrer Temperatur und wird auf den Atmosphärendruck zurückgeführt, welcher bei einem Barometerstande von 28 Zoll fast genau 15 alte Preußische Pfund auf einen Quadratzoll beträgt (§ 127). Dämpfe von 80° R. üben einen einfachen Atmosphärendruck aus, von 97° schon einen zweifachen, von 116° einen vierfachen, von 128° einen sechsfachen, von 138° einen achtfachen, von 146° einen zehnfachen u. s. w., d. h. sie drücken in derselben Ordnung auf einen Quadratzoll so stark wie 15, 30, 60, 90, 120, 150 u. s. w. Pfund.

Dämpfe zeigen sich wirksam bei dem Sprengen der mit Wasser gefüllten Glastropfen, bei der Aeolipile, bei der Feuerfontaine, beim Dampfreaktionsapparat. — Die bewegende Kraft der Dämpfe läßt sich schon durch ein sehr einfaches Instrument zeigen, bestehend aus einer an einem Ende offenen und am andern Ende eine Hohlkugel enthaltenden zylindrischen Glasröhre, in welcher sich ein dicht anschließender Kolben hin- und herbewegen läßt. Wird die Kugel zum Theil mit Wasser gefüllt und dieses über einer Lampe zum Kochen gebracht, so treibt die Kraft der entstandenen Dämpfe, mächtiger als der Atmosphärendruck, den Kolben in die Höhe, welcher sofort wieder, dem Atmosphärendrucke folgend, herabgeht, wenn die Dämpfe durch Eintauchen der Kugel in kaltes Wasser mittelst Kondensation verschwinden. — Bei dem Versuche von Leidenfrost (1756), in welchem ein Wassertropfen, auf weißglühendes Platinblech gebracht, rotirt; wenn sich dieses aber abkühlt, sich auf demselben ausbreitet, kocht und schnell verdampft, wird die Tropfbildung aus, durch die hohe

Temperatur veränderten Kohäsions- und Adhäsions-Verhältnissen erklärt, die Drehung aber dadurch, daß nur an den Berührungsstellen des Tropfens Dampf entsteht, so wie Strömungen im Innern desselben. Auch bei Glas- und Metallgefäßen zeigen Flüssigkeiten unter gleichen Umständen diese Erscheinungen. — Explosion des Dampfkessels, welcher nicht hinlänglich mit Wasser gespeist ist.

2) Als Erfinder der Dampfmaschinen wird der Engländer Hauptmann Savery (1698) genannt. Seine erste Maschine, mittelst deren Wasser zu bedeutender Höhe gehoben wurde, war eine Saug- und Druckpumpe, aber ohne Kolben. Zwischen dem Dampfkessel und dem hohen Saugrohre, dessen unteres Ende sich im Wasser befand, war in angemessener Höhe ein Behälter, dessen oberer Theil durch eine Röhre mit dem Dampfkessel und dessen unterer Theil durch eine zweite Röhre etwa mit der Mitte des Saugrohres verbunden war. In dem Dampfrohre zwischen dem Kessel und dem Behälter befand sich ein Hahn (a) und im Saugrohre waren zwei Hähne angebracht, nämlich über (b) und unter (c) dem Eintritte der den Behälter und dieses Saugrohr befindenden Röhre. Es wurde zunächst der Behälter und das Saugrohr mit Dampf gefüllt, darauf durch Kondensation des Dampfes ein luftleerer Raum erzeugt, worauf die äußere Luft das Wasser bis in den Behälter hob, aus welchem frisch zuströmender Dampf dasselbe durch den oberen Theil des Saugrohres bis zum Ausgußrohre und durch dieses in ein Behältniß trieb. Hierzu war folgende Bewegung der Hähne nöthig; 1: a, b, c geöffnet; 2: a und b geschlossen, c offen; 3: a und b geöffnet, c geschlossen u. s. w.

3) Der Engländer Thomas Newcomen baute 1705 die erste mit Kolben wirkende Dampfmaschine, was in Vergleich mit der Maschine von Savery schon ein großer Fortschritt war. Sie wird atmosphärische Maschine genannt: der aus dem Kessel unter den Kolben eintretende Dampf (Gehler II. Fig. 133) hebt den Kolben in die Höhe; durch Einspritzen des Wassers wird der Dampf niedergeschlagen und durch die Druckkraft der Atmosphäre der Kolben herunter gedrückt; durch den oben angebrachten Waagebalken wird die Triebstange in Bewegung gesetzt, welche das Wasser hebt oder ein Rad dreht. Bei dieser Maschine, welche zum Heben von Wasser gebraucht wurde und auch jetzt noch dazu verwendet wird, wird also das Kolbenspiel in dem oben offenen Dampfzylinder abwechselnd durch den Luftdruck und die Dampfkraft bewirkt.

4) a) Der eigentliche Schöpfer der Dampfmaschine ist der Engländer James Watt (1765), welchen Boulton in seinen Unternehmungen unterstützte Er beseitigte das Einspritzen des Wassers, indem er die verbrauchten Dämpfe in ein besonderes Gefäß behufs der Kondensation (Kondensator) leitete, er brachte eine besondere Pumpe (Luftpumpe) an, um die Luft und das durch die Kondensation des Dampfes entstandene Wasser wegzuschaffen, er schloß den Dampfzylinder und beseitigte hierdurch den Luftdruck, er wendete den Dampfdruck beim Auf- und Niedergange des Kolbens (doppeltwirkende Maschine)

an, er verwandelte die geradlinige oder hin- und hergehende Bewegung durch Anwendung der Kurbel in eine rotirende, er erfand eine am Waagebalken in Form eines Parallelogramms so angebrachte Stangenverbindung (Watt'sches Parallelogramm), daß zwei daran befestigte Kolbenstangen sich senkrecht hinauf- und herabbewegen müssen, er führte behufs Regulirung des Dampfzuflusses das Zentrifugalpendel (konisches Pendel, Moderator) ein u. s. w.

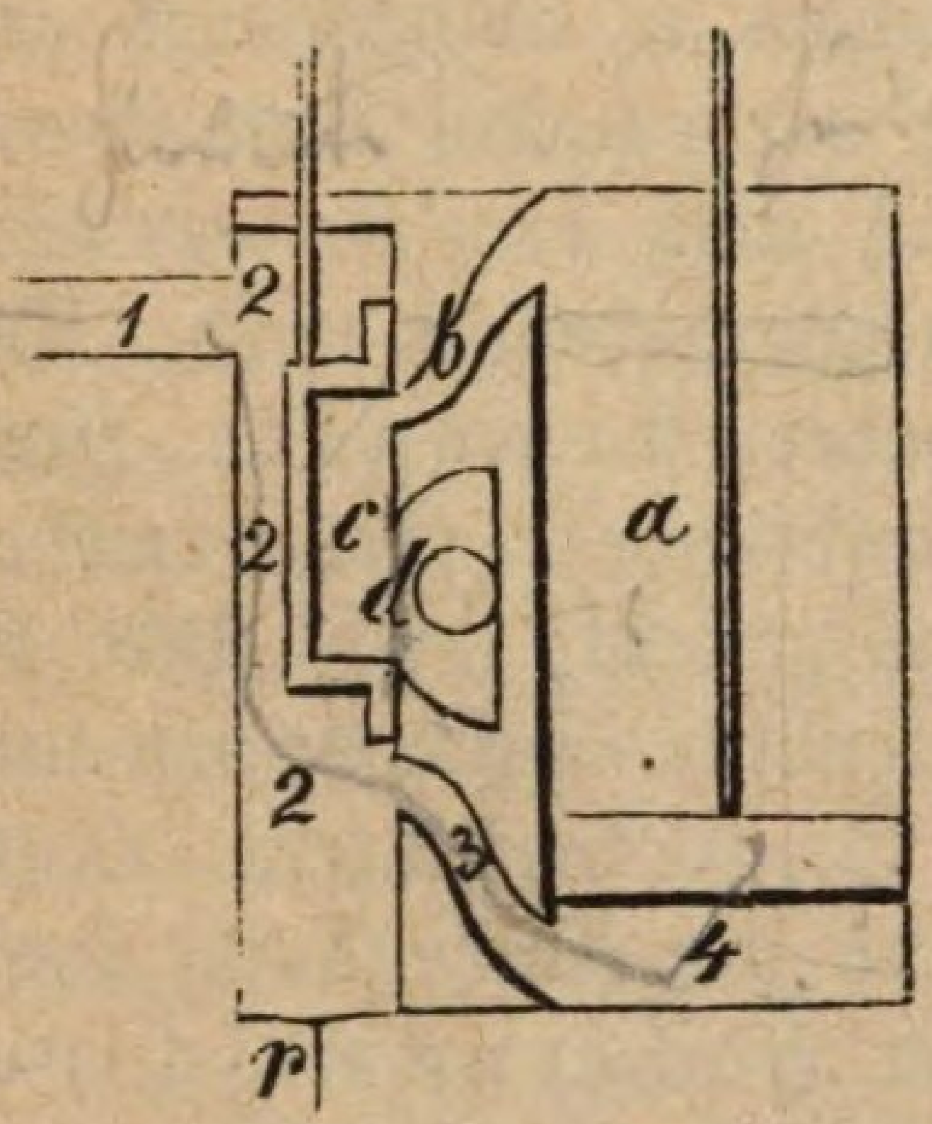
b) Man hat einfachwirkende und doppeltwirkende Watt'sche Dampfmaschinen. Bei jenen bewirkt der Dampf nur den Aufgang des Kolbens, den Niedergang dagegen der atmosphärische Druck. Bei diesen aber bringt der Dampf sowohl den Niedergang als auch den Aufgang des Kolbens hervor, indem er abwechselnd auf seine beiden Flächen wirkt und gleichzeitig der verbrauchte Dampf auf der entgegengesetzten Seite durch seinen Abfluß nach dem Kondensator kondensirt und dadurch ein luftleerer Raum hervorgebracht wird. Die doppeltwirkenden Dampfmaschinen sind entweder stationäre (fixe, feststehende) oder lokomotive (den Ort verändernde). Jene werden als Betriebskräfte zu industriellen Zwecken aufgestellt, diese sind die Wagenmaschinen bei den Dampfwagen oder Eisenbahn-Lokomotiven und die Schiffsmaschinen bei den Dampfschiffen. Die Lokomobilen. Nach der Stärke des Druckes des bei einer Maschine zur Anwendung kommenden Dampfes heißt sie eine Nieder- oder Hochdruckmaschine; dort haben die Dämpfe eine Spannkraft von höchstens $1^1/_2$, hier von $1^1/_2$—6 und mehr Atmosphären. Die gewöhnlichen stationären Maschinen gehören zu den Niederdruckmaschinen, die Lokomotiven dagegen zu den Hochdruckmaschinen.

c) Diejenige wichtige Vorrichtung, durch welche es möglich geworden ist, den Dampf abwechselnd auf den beiden Seiten des Kolbens wirken zu lassen, und welche daher gleichsam als der Schlüssel zu den doppeltwirkenden Maschinen betrachtet werden muß, ist das sogenannte Schieberventil oder die Schiebersteuerung; die Selbststeuerung, da früher das Ventil jedesmal auf- und zugedreht werden mußte. Der Dampf gelangt aus dem Dampfkessel durch das Dampfrohr zuerst in den Dampfkasten und aus diesem erst in den Dampfzylinder, wo er auf dessen Kolben, von welchem eine Stange nach dem Waagebalken hinführt, seine Wirkung ausübt. Der Dampfkasten und der Dampfzylinder sind zwei neben einander sich befindende Räume, deren Scheidewand oben und unten Spalten hat; im Dampfkasten wird dieses Schieberventil durch den Mechanismus der Maschine selbst in der Art hin- und herbewegt, daß sie abwechselnd die Spalten schließt, wodurch der Dampf abwechselnd über und unter den Kolben in den Zylinder tritt, gleichzeitig aber auch abwechselnd der unnöthig gewordene Dampf unter und über dem Kolben entweicht.

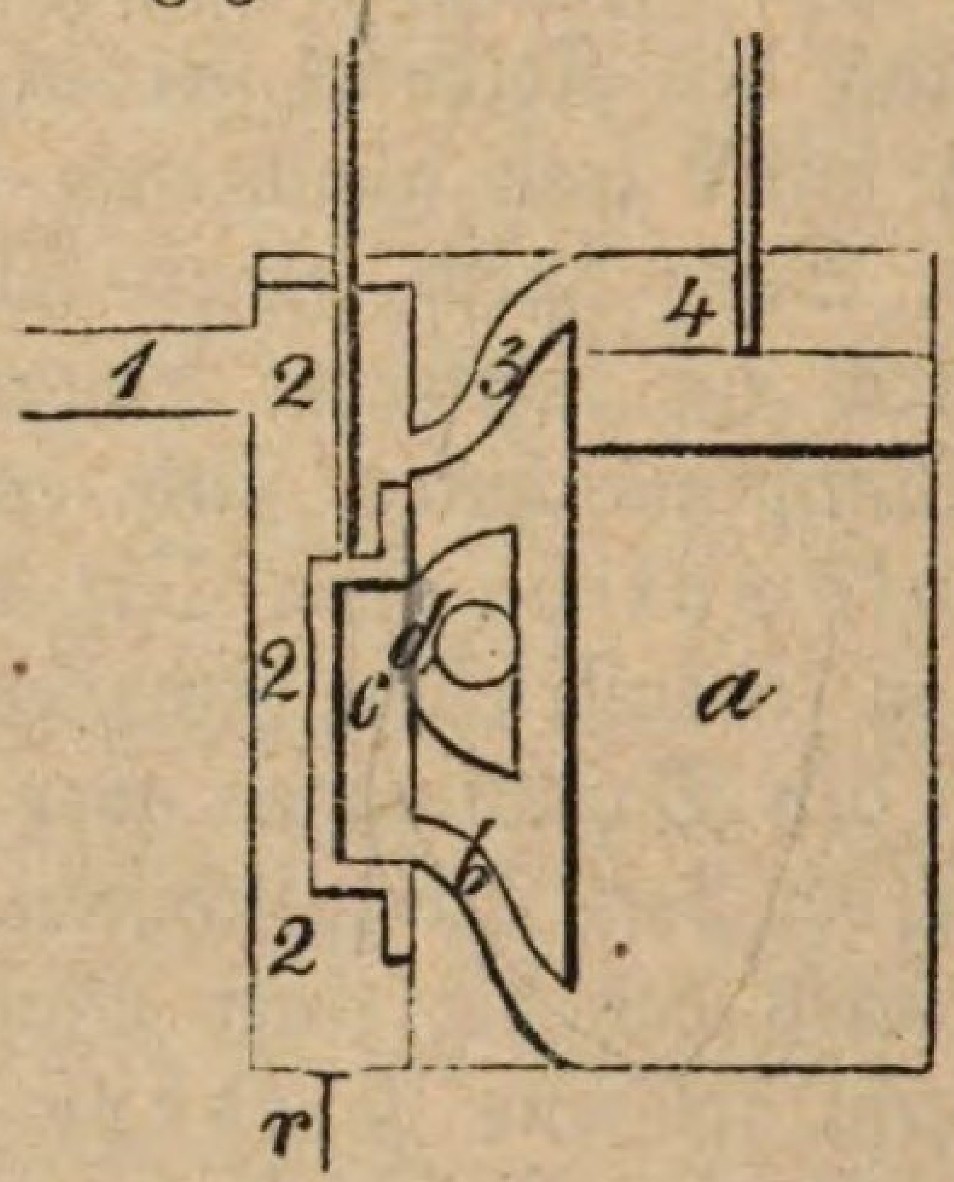
Die Einrichtung des Schieberventils und seine zwei Hauptstellungen geben die Figuren 113 A und 113 B an. Bei der unteren

Stellung des Kolbens in Figur 113 A steht das Schieberventil oben, es tritt dabei der Dampf durch das Dampfrohr 1 in den Dampfkasten 222, von hier durch den Kanal oder Spalte 3 in den unteren Raum des Zylinders 4, während der Dampf aus dem oberen Raume a durch den Kanal b in den Raum c und von hier durch eine Röhre d entweder in den Kondensator, wie bei den stationären Dampfmaschinen, oder ins Freie, wie bei den Lokomotiven, entweicht. Die obere Stellung des Kolbens in Figur 113 B erfordert die untere Stellung des Schieberventils. Die Zeichnung ist leicht zu verstehen, da die Ziffern wieder den Weg des einströmenden, die Buchstaben den des ausströmenden Dampfes angeben, indem die schmale Schieberstange bei 2 den Uebergang des Dampfes aus der Röhre 1 in 3 nicht hindert. Die Einrichtung kann auch so getroffen sein, daß das Dampfrohr nach d führt, dort also der Dampf in den Dampfkasten eintritt, dagegen der verbrauchte Dampf durch eine Röhre unten am Boden des Dampfkastens etwa bei r in den unter dem Dampfzylinder sich befindenden Kondensator geleitet wird; natürlich folgt dann der einströmende Dampf dem Wege d c b a, der ausströmende dagegen dem Wege 4 3 2 r.

Figur 113 A.



Figur 113 B.



Indem nun die abwechselnd hinauf- und herabgehende Kolbenstange an einem Arme eines Waagebalkens (Balancier, Baum, Hebel) wirkt, an dem andern aber Leitstangen, Ketten u. s. w. angebracht sind, kann die Dampfmaschine zu den mannigfachsten Verrichtungen gebraucht werden, nicht nur zum Heben und Ziehen von Lasten, sondern auch zum Treiben der verschiedenartigsten Fabrikmaschinen, indem durch Anwendung der Kurbel Räder in Bewegung gesetzt werden.

Der genauere Vortrag über die Dampfmaschine muß sich an ein Modell, einen Längen-Durchschnitt vorstellend, wie es z. B. der Mechanikus Fessel in Köln anfertigt, anschließen. Besonders ist Folgendes zu behandeln:

I. Dampfkessel aus Eisen- oder Kupferplatten, zylindrisch mit konkavem Boden — Rost, Schornstein. Am Kessel befinden sich 1) das Loch für den Mann, behufs Reinigung des Kessels vom Pfannenstein, 2) der Schwimmer behufs Erhaltung des Normalstandes des Wassers mittelst des aus dem Kondensator kommenden warmen Wassers. Im Innern befindet sich auf dem Wasser eine Sandsteinplatte, hängend an einem Metallstabe, welcher außerhalb über dem Kessel an einem mit einem Gegengewichte versehenen Hebel befestigt ist, durch welchen ein Ventil in einer oben erweiterten und in den Kessel führenden Röhre (Speiseröhre) bewegt wird. 3) Sicherheitsventile, die sich bei

zu großer Spannkraft des Dampfes öffnen und demselben ein Ausströmen gestatten. 4) Probirhähne und zwar der höhere Dampfhahn, der niedere Wasserhahn. Das Wasser steht im Kessel zu hoch, wenn beide Wasser; zu niedrig dagegen, wenn beide Dampf beim Oeffnen ausströmen lassen. 5) Wasserstandsrohr, oben mit dem Dampfraum und unten mit dem Wasserraum des Kessels verbunden; Kessel und Rohr sind kommunizirende Röhren. 6) Zuweilen auch ein Quecksilbervisir zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe; eine hebelartig gebogene, an beiden Enden offene und Quecksilber enthaltende Röhre, deren kürzerer Schenkel mit dem Dampfraum, der längere aber mit der Atmosphäre in Verbindung steht. Steht im längern Schenkel das Quecksilber 7, 14, 21, 28 Zoll u. s. w. höher als im kürzern, so haben die Dämpfe eine Spannkraft von $1^1/_4$, $1^1/_2$, $1^3/_4$, 2 u. s. w. Atmosphären.

II. Die eigentliche Dampfmaschine. Das Dampfrohr (1) führt den Dampf aus dem Kessel in den Dampfkasten (2), in welchem sich das Schieberventil (3) bewegt und den Dampf bald über bald unter den Kolben (4) des Dampfzylinders (5) gelangen läßt. Aus dem Dampfkasten führt eine Röhre nach dem unter dem Dampfzylinder angebrachten, von kaltem Wasser umgebenen Kondensator (6); die Luft und das hier entstandene Wasser gelangt in eine Saugpumpe, die sogenannte Luftpumpe (7) oder Kondensationspumpe, welche dieses Wasser bis zu einer gewissen Höhe hebt und einem Raume übergiebt, aus welchem eine zweite Pumpe, die Warmwasserpumpe (8) oder Speisepumpe dasselbe in eine Röhre erhebt, welche mit der Speiseröhre am Dampfkessel in Verbindung steht. Endlich hat eine dritte Pumpe, die Kaltwasserpumpe (9) das Geschäft, aus einem Brunnen kaltes Wasser in den großen den Kondensator umschließenden Kasten herbeizuschaffen, während das darin warm gewordene Wasser durch eine besondere Röhre abfließt. Von den vier vorkommenden Kolbenstangen gehören die des Dampfzylinders und der Luftpumpe dem einen Arme des Waagebalkens, die der Warm- und Kaltwasserpumpe dem andern, weshalb sich diese zwei Paare von Kolbenstangen stets nach entgegengesetzten Seiten bewegen. Die nothwendig senkrechte Bewegung des ersten Paares wird durch das am betreffenden Hebelarme angebrachte Watt'sche Parallelogramm (10), an welchem es befestigt ist, bewirkt. Der Dampf treibt also den Kolben, dieser die Kolbenstange und diese setzt mit Hilfe des Parallelogramms den Waagebalken in eine auf- und niedergehende Bewegung; indem nun vom andern Ende des Waagebalkens eine Leitstange (11) zu der mit der Achse des Schwungrades (12) verbundenen Kurbel (13) geht, muß durch die Bewegung des Waagebalkens die Rotation des Schwungrades hervorgebracht werden, welches der ganzen Maschine erst eine gleichförmige Bewegung giebt, und sie zugleich über die sogenannten todten Punkte hinwegbringt. Die Bewegung des Kolbens ist ungleichmäßig, sie wird desto langsamer, je mehr er sich seinem höchsten und tiefsten Stande nähert, welche zwei Stände in den Augenblicken stattfinden, wo Leitstange und Kurbel in eine gerade Linie fallen (sich verlängernd oder sich zum Theil deckend), also die Leitstange die Kurbel nicht fortführen kann, sondern durch sie nur einen senkrechten Druck auf die Achse des Rades ausübt (todte Punkte).

Der Dampfzufluß aus dem Kessel nach dem Dampfkasten regulirt das konische Pendel (14), welches mittelst einer um seine Achse einerseits und um eine auf der Achse des Schwungrades sitzende Scheibe andererseits gelegten Schnure ohne Ende durch dieses Rad seine Rotation erhält; in Folge welcher durch Vermittelung von Winkelhebeln eine Klappe (15) im Dampfrohre dieses desto mehr schließt, je schneller die Kolbenbewegung ist.

Die Bewegung des Schieberventils endlich wird bewirkt entweder durch einen Seitenarm der Kolbenstange im Dampfzylinder oder durch eine an der Achse des Schwungrades befestigte exzentrische Scheibe (16), um welche ein verschiebbarer Ring liegt, an welchem Stangen angebracht sind, die mittelst eines Winkelhebels das Schieberventil bewegen. Bei der Bewegung des

Schwungrades kommt der große Theil der exzentrischen Scheibe nach einander rechts, unten, links, oben (oder auch rechts, oben, links, unten) zu liegen, wodurch der Ring, also auch die Stangen von rechts nach links und dann von links nach rechts bei jeder Umdrehung des Rades geschoben werden, was mittelst des Winkelhebels die herauf- und herabwärtsgehende Bewegung des Schieberventils hervorbringt.

5) Zu einer Lokomotive (Georg Stephenson baute 1829 die erste brauchbare) gehören gewöhnlich zwei Wagen, der Hauptwagen, auf dem sich die eigentliche Maschine befindet, und der Nebenwagen oder Tender, auf welchem sich das Wasser und das Brennmaterial befinden; zuweilen werden letzere mit der Maschine auf demselben Wagen angebracht. Eine Lokomotive hat zwei Dampfzylinder, deren Kolbenstangen mittelst Kurbeln unmittelbar die Achse eines Paares von Rädern, und da diese mit der Achse fest verbunden sind, auch die Räder selbst bewegen, wodurch die zwei anderen Paare von Rädern mit zu laufen gezwungen werden. Sie hat keinen Balancier, da ein solcher zur Vermittelung der Radbewegung nicht nothwendig ist, auch kein Schwungrad, indem die Bewegung über die todten Punkte die an den Rädern rechtwinkelig zu einander gestellten Kurbeln bewirken; endlich auch keinen Kondensator, indem die Kondensation der Dämpfe, wie bei allen Hochdruckmaschinen, in der Luft stattfindet.

Auch hier ist für die genaue Erklärung der Lokomotive ein Modell im Längendurchschritt von Fessel in Köln zu empfehlen. Am Hauptwagen unterscheiden wir das Gestell, den Dampferzeuger mit seinem Zubehör und den Dampfzylinder mit seinem Zubehör.

I. Beim Gestelle unterscheidet man die Räder, den Rahmen und die Gallerie für den Lokomotivführer. Die Räder, gewöhnlich drei Paare, sitzen an ihren Achsen fest und werden daher mit diesen zugleich bewegt. Die mittleren Räder, auf welche die Kolbenstangen unmittelbar wirken, heißen Treibräder, die vorderen und hinteren, gewöhnlich kleineren Räder, aber Fahr- oder Tragräder.

II. Beim Dampferzeuger unterscheidet man die Feuerkammer bei den Hinterrädern, die Rauchkammer mit dem Schornstein bei den Vorderrädern und dazwischen den Dampfkessel, welchen von der Feuerkammer nach der Rauchkammer eine Menge Heizröhren (80—150 von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser) durchziehen. Wie bei den stationären Dampfmaschinen sieht man hier am Kessel Sicherheitsventile, Probirhähne u. s. w., außerdem eine Dampfpfeife, um Signale zu geben.

III. Die beiden Dampfzylinder von etwa 2' Länge befinden sich unter der Rauchkammer oder zu beiden Seiten derselben mit ihren die Schieberventile einschließenden Dampfbüchsen oder Dampfkasten. Der von der Vermengung mit Wasser befreiete Dampf im Kessel erhebt sich in die sogenannte Kuppel oder in den Dom, gelangt von da durch eine senkrechte Röhre bis zum Dampfregulator, durch welchen der Führer mittelst einer Hebelvorrichtung in eine noch im Dampfraume sich befindende Horizontalröhre Dampf nach Erforderniß strömen läßt oder den Zufluß desselben auch ganz aufheben kann; von hier gelangt der Dampf mittelst zweier seitswärts durch die Rauchkammer gehende Röhren nach den beiden Dampfbüchsen, und aus jeder derselben, den Bewegungen des Schieberventils entsprechend, in den Dampfzylinder abwechselnd auf die eine oder die andere Seite des Kolbens. Der verbrauchte Dampf

wird durch den Kolben stoßweise durch das sogenannte Blaserohr in die Rauchkammer getrieben, aus welcher er gleichzeitig mit der durch die Heizröhren hineingelangten Rauchluft zum Schornstein ins Freie entweicht.

Die Bewegungen der Kolben bewirken mittelst Stangen und Kurbeln die Rotation der Achse der Treibräder, und diese Achse mittelst an ihr befestigter exzentrischer Scheiben die hin- und hergehende Bewegung der Schieberventile. Die beiden Kurbeln stehen aber senkrecht zu einander, weshalb die beiden Kolbenbewegungen auch nicht völlig mit einander übereinstimmen; der eine ist in der Mitte seines Zylinders, während der andere schon am Ende des seinigen u. s. w., durch welche Einrichtung die Nachtheile der todten Punkte (wenn nur ein Dampfzylinder wäre) aufgehoben werden, wie bei den stationären Maschinen durch das Schwungrad.

Die auf dem Hauptwagen befindliche Speisepumpe ist einerseits mit dem Dampfkessel durch eine Röhre und andererseits durch eine zweite mit einem elastischen oder verschiebbaren Theile versehene Röhre mit dem Wasser des Tenders in Verbindung; ihre Kolbenstange wird durch die des Dampfzylinders mittelst der Treibräder in Bewegung gesetzt und der Zufluß des Wassers wird durch besondere Hähne regulirt. Das Rückwärtsfahren bewirkt der Führer durch mittelst eines Hebels hervorgebrachte veränderte Stellung des Schieberventils, wodurch Eintritt und Austritt des Dampfes ihre Stellen im Dampfzylinder sofort wechseln.

Bei den Dampfschiffen wird durch die Dampfmaschine der Fortbewegungsapparat, entweder Schaufelräder oder eine Schraube in Umschwung gesetzt, nach welchem man Räderschiffe und Schraubenschiffe unterscheidet — Dampfkanonen. — Bei den kalorischen Maschinen von Ericson und Andern wird als bewegende Kraft erhitzte komprimirte Luft angewendet. Bei der atmosphärischen Eisenbahn ist in der ganzen Länge ein dünner Cylinder angebracht, welcher luftleer gemacht wird; ein genauschließender Kolben wird durch den Druck der Atmosphäre fortgetrieben und steht durch eine Stange mit der zu befördernden Last in Verbindung, wobei freilich die Schwierigkeit, daß die Spalte, in welcher jene Stange den Cylinder durchbricht, jedesmal wieder fest geschlossen werden muß. Wenn aber nur Sachen, zumal auf nicht zu große Entfernungen fortgeschafft werden sollen, so kann das Behältniß ganz innerhalb der Röhre liegen.

6) Im Allgemeinen wächst die Wirkung einer Dampfmaschine einerseits mit der Spannkraft der Dämpfe, andererseits mit der Größe des Kolbens; ihre Wirkung wird vermindert durch die Reibung des Kolbens, des Schieberventils, durch den Gegendruck des entweichenden Dampfes, der Atmosphäre u. s. w. Bei der Berechnung der Kraft einer Dampfmaschine nach Pferdekräften legt man den Erfahrungssatz zu Grunde, daß ein Pferd in jeder Sekunde 500 Pfund 1 Fuß hoch zu heben im Stunde sei. Eine Dampfmaschine ist hiernach eine Dampfmaschine von 1, 2, 3 ꝛc. Pferdekräften, je nachdem sie in je 1 Sekunde 1 Fuß hoch zu heben im Stande ist 500, 1000, 1500 Pfund ꝛc., oder wenn ihre Wirkung, wie man auch sagt, gleich ist 500, 1000, 1500 Fußpfunden, — welche Pferdekraft jedoch, wenn die Maschine den ganzen Tag arbeitet, noch zu verdreifachen ist, da ein Pferd die Kraft, welche nöthig ist, um in jeder Sekunde 500 Pfund 1 Fuß hoch zu heben, während eines Tages nur 8 Stunden lang ausüben kann. Hat der Kolben bei einer Lokomotive, wie häufig der Fall ist, $^3/_4$ Quadratfuß, und der einströmende Dampf fünffachen Atmosphärendruck, so daß nach Abzug des Gegendruckes der Atmosphäre noch vierfacher

Atmosphärendruck, also 4 . 15 = 60 Pfund auf den Quadratzoll, oder 144 . 60 = 8640 Pfund auf den Quadratfuß verbleibt, so ist die bewegende Kraft = $^3/_4$. 8640 = 6480 Pfund. Hat dabei der Kolben eine Geschwindigkeit von 5 Fuß, so ist die Kraft der Maschine = 5 . 6480 = 32400 Fußpfunden oder = $\frac{32400}{500}$ = etwa 65 Pferdekräften.

191. 1) Die schon bei jeder Temperatur allmälig stattfindende Verwandlung fester und besonders flüssiger Körper in Luftgestalt nennt man Verdunstung, zum Unterschiede von der Verdampfung, als einer solchen durch höhere Wärmegrade schnell bewirkten Verwandlung. Die den verdunstenden Körper umgebende Luft kann bei einem bestimmten Temperaturgrade nur eine bestimmte Menge Dunst aufnehmen und zwar desto mehr, je höher die Temperatur ist; hat sie den Sättigungspunkt erreicht, so hört die Verdunstung auf. Die Verdampfung der Flüssigkeiten beim Kochen findet in der ganzen Masse statt, die Verdunstung dagegen nur an ihren Oberflächen; sie wird vorzüglich befördert durch die Vergrößerung der Oberfläche und durch Luftzug, wodurch an die Stelle der mit Dunst gesättigten Luftmassen neue, zum Aufnehmen desselben noch geeignete, gebracht werden; vermindert wird sie natürlich durch das Gegentheil.

Das Aufhängen der Wäsche und gefärbter Tücher; das Heu- und Getreidetrocknen; der Wind trocknet; das Abkühlen der Speisen durch Blasen; das Abkühlen der heißen Flüssigkeiten durch Umrühren. Die Schwüle vor und die Kühle nach Gewitterregen: dort ist die Atmosphäre mit Dünsten gesättigt und unsere Ausdünstung verhindert, hier aber ist sie durch den Regen ihres Dunstes beraubt, und wir können deshalb wieder ausdünsten. Die Schiffer bestimmen die Richtung des Windes unter anderen so, daß sie den benetzten Finger in die Höhe halten; auf der Seite, nach welcher der Wind bläset, wird die Verdunstung beschleunigt und dadurch die Abkühlung vermehrt. — Das Atmometer, ein im Freien hingestelltes Gefäß mit Wasser, zum Schutze vor Regen in einiger Entfernung mit einem Dache versehen, ist ein sehr ungenaues Maaß der stattfindenden Verdunstung.

Das in der Atmosphäre sich befindende Wasser heißt Wassergas, so lange es eine Luftart ist, wobei es durchsichtig ist und die Atmosphäre trocken läßt, Dunst aber, sobald das Wassergas durch Kälte oder Zusammendrückung wieder zu Wasser zu werden anfängt, wodurch es undurchsichtig wird und feucht macht. Der Dunst besteht höchst wahrscheinlich aus lauter sehr kleinen, hohlen Wasserkügelchen oder Wasserbläschen.

2) Hygroskopische Substanzen sind solche Körper, welche durch die Feuchtigkeit irgend eine äußere Veränderung erleiden und dadurch eben Feuchtigkeit anzeigen, was bei Körpern aller drei Naturreiche mehr oder weniger der Fall ist. Die Veränderungen sind vorzugsweise theils Gewichtsveränderungen, wie beim Thonschiefer und jedem Salze, welche durch die aufgenommene Feuchtigkeit schwerer werden; theils Volumen-Veränderungen, wobei eine Ausdehnung nach

allen Dimensionen, wie beim Pergament und Papier, oder nach einer Seite vorzugsweise, wie bei den Haaren in die Länge, bei dem Holze und Fischbeine in die Breite, d. h. in der auf der Länge der Fibern senkrechten Richtung bemerkt wird. Auch giebt es solche Körper, welche sich durch Feuchtigkeit aufdrehen und länger werden, wie die Darmsaiten; andere, die sich verkürzen, wie gedrehte Seile.

Als man bei der Aufrichtung des an 90,000 Pfd. schweren Sixtini'schen Obelisken zu Rom bei einbrechender Nacht Einhalt thun mußte, fand man ihn des Morgens mehrere Fuß gehoben, weil es in der Nacht geregnet hatte, wodurch sich die Seile, mittelst deren er auf der seiner Neigung entgegengesetzten Seite an sicheren Gegenständen befestigt war, verkürzten. — Verstimmung der Saiteninstrumente, das Aufrollen der Locken bei den Frauen zur Zeit feuchter Luft.

3) Instrumente, welche die in der Atmosphäre enthaltene Feuchtigkeit anzeigen und messen, heißen Hygroskope, Feuchtigkeitsanzeiger, und Hygrometer, Feuchtigkeitsmesser. Die vorzüglichsten älteren Hygrometer sind das Haarhygrometer von Saussüre und das Fischbeinhygrometer von de Lüc. Sie geben nur die in der Atmosphäre als Dunst enthaltene Feuchtigkeit an. Die mechanische Einrichtung dieser Instrumente wird bei der Ansicht derselben von selbst klar, daher nur folgende Andeutungen. Feuchtigkeit verlängert, Trockenheit verkürzt das Menschenhaar, dem zuerst durch Auskochen in Lauge die Fettigkeit benommen worden ist; dasselbe gilt auch von einem Fischbeinstreifen, der aus einer Fischbeintafel nach der Quere herausgeschnitten worden ist. Jedes dieser Hygrometer hat zwei Fundamentalpunkte: den Punkt größter Feuchtigkeit mit 100, und den Punkt größter Trockenheit mit 0 bezeichnet; die Fundamentalentfernung enthält also bei beiden 100 gleiche Theile, Grade genannt. Saussüre bestimmte den Punkt größter Feuchtigkeit, indem er sein Hygrometer in eine innerhalb mit destillirtem Wasser benetzte und durch destillirtes Wasser abgesperrte Glasglocke brachte; de Lüc aber, indem er es in Wasser eintauchte. Den Punkt größter Trockenheit bestimmte jener, indem er das Hygrometer in eine mit Quecksilber abgesperrte Glasglocke brachte, worin die Luft durch ein glühendes Blech mit glühendem Pulver aus Salpeter und rohem Weinsteine ausgetrocknet worden war; dieser dagegen, indem er es in ein wohlverschlossenes zinnernes Gefäß setzte, worin er die Luft durch hineingelegten ungelöschten Kalk, welcher die Feuchtigkeit begierig an sich zieht, austrocknete.

Die sogenannten Wetterhäuschen beruhen darauf, daß eine senkrecht herabgehende Darmsaite bei trockener Luft sich zusammendreht, bei feuchter dagegen aufdreht; in Folge dessen ein durch ihr unteres Ende gehendes Stäbchen sich das eine Mal nach der einen Seite, das andere Mal nach der entgegengesetzten bewegt, wodurch an offenen Stellen des Häuschens entweder ein Männchen mit einer Gießkanne oder ein Weibchen mit einem Regenschirm, welche Figuren an den Enden des Stäbchens befestigt sind, zum Vorschein kommt. — Bei der Pflanze Reiherschnabel (Erodium) sind die Fruchtblätter, welche um den Samen spiralförmig gewunden sind, sehr empfindlich gegen die Feuchtigkeit; bei feuchter Luft wickelt sich die Granne auf, bei trockener

windet sie sich zusammen. — Wird eine Glasröhre unten mit einer thierischen Haut geschlossen und mit Quecksilber gefüllt, welches die Haut zu einem Säckchen ausdehnt, so zieht sich bei zunehmender Trockenheit die Haut zusammen und das Quecksilber steigt. — Die Darmsaiten, thierische Häute, die Pflanzenblätter rc. verlieren mit der Zeit ihre Empfindlichkeit, weshalb die darauf sich gründenden Hygrometer ohne besonderen Werth sind.

Von den neueren Hygrometern, welche die in der Atmosphäre enthaltene Feuchtigkeitsmenge, den wahren Gehalt an Wasser, angeben, und sich auf Verdunstung und Niederschlag gründen, merken wir uns hier nur Daniell's Hygrometer (1819) und August's Psychrometer (1829), zu deren Kenntniß folgende Andeutungen dienen. Bei dem ersteren ist eine auf einem hölzernen Gestelle ruhende, horizontale Glasröhre an beiden Enden rechtwinkelig gebogen, die senkrecht herabgehenden ungleich langen Schenkel enden mit Glaskugeln von einem Zoll Durchmesser, von denen die am kürzeren Schenkel mit Musselin oder feiner Leinwand bedeckt, die am längeren aber, äußerlich in der Mitte mit einer vergoldeten Zone versehen, mit Aether (Schwefeläther, Naphta) zum Theil gefüllt ist, in welchem sich die Kugel eines kleinen, in dem längeren Schenkel sich hinauf erstreckenden Thermometers befindet; außerdem sieht man an dem hölzernen Gestelle noch ein zweites Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur. Die Kugeln und die Verbindungsröhre sind luftleer gemacht, indem in der mit Musselin bedeckten Kugel ursprünglich eine kleine Oeffnung war, durch welche die innere Luft mittelst der durch Kochen des Aethers in der anderen Kugel entstandenen Aetherdämpfe herausgetrieben und welche, sobald Aetherdämpfe herausströmten, an einer Lampe schnell zugeschmolzen wurde. Dieser Raum ist stets mit Aetherdämpfen angefüllt; werden nur einige Tropfen Schwefeläther auf den Musselin gegossen, so verdunsten diese, wodurch nicht nur der Kugel, sondern auch den inneren Aetherdämpfen so viel Wärme entzogen wird, daß sich 1) diese inneren Aetherdämpfe niederschlagen, 2) daß wegen des nun auch ätherdampflosen inneren Raumes schnell neue Aetherdämpfe in der anderen Kugel entstehen, und weil dieser dadurch Wärme entzogen, sie also abgekühlt wird, 3) hierdurch auf ihr ein Niederschlag der in der Atmosphäre sich befindenden Wasserdämpfe stattfindet. Die durch das innere Thermometer angegebene Temperatur, bei welcher sich dieser Niederschlag durch ein schwaches Bethauen, besonders der vergoldeten Zone, zu bilden anfängt, also die Temperatur der Thaubildung, giebt den Kondensationspunkt der Wasserdämpfe an, und die Differenz der durch das äußere und innere Thermometer angegebenen Temperaturen giebt an, wie viel die gegenwärtige Lufttemperatur abnehmen müsse, damit sich ein Niederschlag der in der Atmosphäre befindlichen Dämpfe bilden könne; woraus auf den Feuchtigkeitszustand der Luft geschlossen werden kann. Unter dem Thaupunkte verstehen wir diejenige Temperatur, bei welcher die Wasserdünste das Maximum ihrer Dichtigkeit haben, die Luft also mit Wasserdünsten gesättigt ist, so daß bei einer Erniedrigung derselben der Niederschlag,

die Kondensation erfolgt. Es liegt hiernach der Thaupunkt etwas höher als der Kondensationspunkt; beobachtet man daher an dem inneren Thermometer außer der Temperatur, bei welcher der Niederschlag erfolgt, auch diejenige, bei welcher er wieder verschwindet, die Verdunstungstemperatur, so wird irgendwo zwischen ihnen die Temperatur des Thaupunktes liegen. Man betrachtet das Mittel aus diesen beiden Temperaturen als die Temperatur des Thaupunktes. August's Psychrometer, Kältemesser, welches sich darauf gründet, daß Wasser desto schneller verdunstet, je trockener die Luft, und daß in gleichem Maaße die Erkaltung zunimmt, besteht aus zwei völlig mit einander übereinstimmenden Thermometern, die auf einem Holzgestelle senkrecht neben einander herabhängen, und von denen das eine seine Kugel mit Musselin oder feiner Leinwand bedeckt hat. Wird der Musselin mit reinem Wasser befeuchtet, so sinkt das zugehörige Thermometer — das angefeuchtete — wegen der durch die Verdunstung erzeugten Kälte so lange, bis die umgebende Luft mit Dünsten gesättigt ist, während das andere — das trockene — seinen Stand unverändert behält, wobei natürlich die Verdunstung und das davon abhängende Sinken oder die Erkaltung des Thermometers desto schneller vor sich gehen wird, je trockener die Luft ist, d. h. je weiter sie von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Differenz der durch die beiden Thermometer angegebenen Temperaturen — die psychrometrische Differenz — ist die Differenz zwischen der wirklichen Lufttemperatur und der Verdunstungstemperatur, d. i. der durch die Verdunstung verminderten Lufttemperatur, und desto größer, je weniger Dünste die Luft enthält, je mehr sie deren also noch aufnehmen kann. Die Thermometer werden nur dann gleich hoch stehen, und die Differenz wird also Null sein, wenn die Luft mit Dünsten gesättigt ist. Aus der psychometrischen Differenz läßt sich mittelst der von August berechneten Tabellen der jedesmalige Wassergehalt der Atmosphäre ermitteln.

Hygrometrie. — Der Druck, den die Wasserdünste der Atmosphäre ausüben, nimmt mit der Wärme zu. Nach Dalton ist der barometrische Druck der Dünste, wenn die Luft mit denselben gesättigt ist, in Pariser Linien, z. B. für

— 20° R. . .	0,3354	+ 10° R. . .	5,1026
— 10° R. . .	0,9087	+ 15° R. . .	7,4928
— 1° R. . .	2,0563	+ 20° R. . .	10,8230
+ 5° R. . .	3,4144	+ 25° R. . .	15,3940.

Angenommen, das Daniell'sche Hygrometer werde beobachtet bei einem Barometerstande von 336″ und einer Lufttemperatur von + 20° R., der Niederschlag erfolge bei + $14\frac{1}{2}$ und verschwinde bei $15\frac{1}{2}$°, so ist das arithmetische Mittel von beiden, nämlich 15°, die Temperatur des Thaupunktes oder diejenige Temperatur, bei welcher die Luft mit der zu dieser Zeit enthaltenen Dunstmenge gesättigt ist, und man urtheilt so:

Bei + 20° ist der Dunstdruck 10,8230,
„ + 15° „ „ „ 7,4928, also

bei + 20° der Dunstdruck vom Luftdrucke $\frac{10,8230}{336}$,

„ + 15° „ „ „ „ $\frac{7,4928}{336}$,

oder dort 0,0322, hier 0,0223, d. h. dort 3,22 Prozent und hier 2,23 Prozent, mithin erhält bei + 20° die Atmosphäre 3,22—2,23 = 0,99 Prozent weniger Dünste, als sie aufnehmen kann.

Nach Daniell's Beobachtungen erfolgt fast immer Regen, wenn die Temperatur der Luft und die des Thaupunktes sich wenig von einander unterscheiden. Vergrößerung dieses Unterschiedes am Morgen verspricht für den Tag schönes Wetter, Verminderung aber Regen für den Abend. Nach einer von Dalton aufgestellten Tabelle läßt sich aus dem beobachteten Sättigungspunkte berechnen, wie viel Wasser jedesmal in der Luft vorhanden ist: z. B. bei 8° R. in einem Kubikfuß 0,0005641 Zollpfund, bei 16° R. 0,0010114 Pfd. Demnach in einem Zimmer 18' lang, 14' breit, 11' hoch (2772 Kubikfuß) sind, wenn das Hygrometer 8° angiebt, 1,564 Pfd., bei 16° aber 2,804 Pfd. Wasser enthalten.

5. Von den Wärme- und Hygrometeoren.

192. Auf der Wärme und Kälte beruhen die bei weitem meisten Erscheinungen in der Atmosphäre, von denen wir hier die vorzüglichsten mit einigen Erläuterungen anführen wollen. I. 1) Die Wärme der Atmosphäre nimmt im Allgemeinen an allen Orten der Erde mit der Höhe ab, und zwar im Mittel bei je 500 bis 600 Fuß um 1° C. Diese Abnahme der Wärme in der Atmosphäre mit der Höhe ist die Folge dessen, daß die obere dünne Luft einen kleineren Theil der wärmenden Sonnenstrahlen absorbirt, als die untere dichtere, daß die von der Erde reflektirten Wärmestrahlen mit der Höhe an Umfang zunehmende Luftschichten treffen, also verhältnißmäßig weniger auf sie wirken können, was eben so von derjenigen Wärme gilt, welche die von der Sonne erwärmte Erdoberfläche an die sie umgebende Luft abgiebt und welche durch Fortleitung sich verbreitet. Aber die Erde hat auch eine eigenthümliche Wärme, welche bedeutend höher als die des Weltraumes ist; sie nimmt mit der Tiefe im Durchschnitt auf je 100 Fuß um 1° C. zu, wie wir das aus der die mittlere Temperatur der Orte übertreffenden Temperatur der Mineralquellen und artesischen Brunnen, besonders aber aus der durch alle Versuche bestätigten Zunahme der Temperatur im festen Boden, schließen dürfen.

Mittlere Tagestemperatur, mittlere Jahrestemperatur, mittlere Temperatur des Ortes. — Die isothermischen Linien oder Isothermen von A. v. Humboldt verbinden diejenigen Punkte der Erdoberfläche, welche gleiche mittlere Lufttemperaturen haben; sie laufen mit dem geographischen Aequator nicht parallel, eben so wenig mit dem thermischen Aequator, d. i. mit der Linie der größten Wärme, welche etwas nördlich vom geographischen Aequator fällt. Die Kältepole, d. i. die kältesten Punkte der Erde, fallen auch nicht mit den Erdpolen zusammen. Die nördliche Erdhälfte zeigt eine höhere Temperatur als die südliche und hat zwei Kältepole, den einen im Norden Asiens, den andern im Norden Amerika's. Isotheren sind diejenigen Linien, welche durch Orte gleicher Sommerwärme, Isochimenen dagegen diejenigen Linien, welche durch Orte gleicher Winterkälte gezogen sind. — Die Erde könnte wohl im Inneren im glühenden oder geschmolzenen Zustande sein — Vulkane. — Die Pflanzenreste der Polarländer deuten darauf, daß die Oberfläche der Erde in der vorgeschichtlichen Zeit wärmer, als jetzt gewesen sei.

2) Die Sommerwärme und Winterkälte sind Folge der Stellung der Erde zur Sonne, so wie die tägliche regelmäßige Zu- und Abnahme der Wärme ihren Grund in der größeren oder geringeren Erhebung der Sonne über den Horizont und der damit verbundenen längeren oder kürzeren Einwirkung der Sonne hat. Senkrecht auffallende Sonnenstrahlen wirken am stärksten; je höher aber die Sonne über dem Horizonte steht, unter einem desto größeren Einfallswinkel fallen die Strahlen auf, desto mehr entwickeln sie Wärme. So wie also die Sonne im Sommer größere Tagesbogen über dem Horizonte beschreibt, so muß auch die Wärme von Tage zu Tage zunehmen, und so muß auch des Vormittags jedes Tages die Wärme zunehmen, je höher die Sonne in ihrem Tagesbogen heraufrückt; und im umgekehrten Falle, im Winter, wiewohl uns da die Sonne näher ist, als im Sommer, und des Nachmittags, auch umgekehrt. Die Sommerwärme sollte also bei uns im Juni, zur Zeit des Sommersolstitiums, wo die Sonne den größten Tagesbogen beschreibt, und die Tageswärme zu Mittage, wo die Sonne in ihrem Tagesbogen am höchsten über dem Horizonte steht, am größten sein; aber jenes Maximum fällt erst in den Juli, dieses Nachmittags zwischen 2 und 3 Uhr; weil die aufs Höchste erwärmte Erde (im Juni, zu Mittage) noch einer gewissen Zeit bedarf, um der Atmosphäre die möglichst größte Wärme mitzutheilen. Die niedrigste Tageswärme tritt kurz vor Sonnenaufgang ein; die niedrigste Jahreswärme meist im Januar, also nach der im Dezember stattgefundenen niedrigsten Mittagshöhe der Sonne.

Auf den schiefen nach Süden liegenden Dächern der Häuser schmilzt der Schnee schnell.

II. 1) Der Wind ist bewegte Luft, also ein Luftstrom. Die Luft strömt nicht nur in luftleere Räume, sondern auch überall hin, wo dünnere Luft ist. Entstehen daher auf irgend eine Weise in der Atmosphäre Luftmassen von ungleicher Dichtigkeit, so vertheilt sich die dichtere Luft so lange, bis ein Gleichgewicht hergestellt ist; es entstehen Luftströme von der dichteren Luft nach der dünneren; daher bei Feuersbrünsten, selbst wenn vorher die Luft ruhig war, Wind entsteht. Dieses Gleichgewicht in der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft, oder die Windstille, wird vorzüglich durch ungleiche Erwärmung, aber auch durch Anziehung des Mondes, durch Verdunstung, und gewiß noch durch manche andere uns unbekannte Ursachen aufgehoben.

2) Zu den regelmäßigen und beständigen Winden, welche sich vorzugsweise in der heißen Zone zeigen, gehören der stets wehende merkwürdige Ostwind oder die Passatwinde, die Moussons, so wie die Land- und Seewinde. Der Ostwind wird erklärt aus der ungleichen Erwärmung der Atmosphäre in den Polargegenden und zwischen den Wendekreisen und aus der Achsenbewegung der Erde von Westen nach Osten. Zwischen den Wendekreisen wird nämlich

die Luft am stärksten erwärmt; spezifisch leichter geworden, erhebt sie sich und es entstehen zwei Luftströme in entgegengesetzten Richtungen, nämlich eine Strömung der warmen Luft von dem Aequator nach den Polen in den höheren Regionen der Atmosphäre, und eine Strömung der kalten Luft von den Polen nach dem Aequator in den unteren Regionen (äquatoreale und polare Strom). Da aber bei der Achsenbewegung der kugelförmigen Erde von Westen nach Osten die Aequatorialgegenden sich schneller als die Polargegenden bewegen, was auch von den entsprechenden Luftregionen gilt, so hat die zwischen die Wendekreise angekommene Polarluft eine langsamere Bewegung nach Osten, als der unter ihr sich fortbewegende Erdboden, oder das mit der Erde daselbst eben dahin fortgeführte Schiff; weshalb sie, in ihrer Rotationsgeschwindigkeit von Westen nach Osten zurückbleibend, als östlicher Strom auftritt, welcher sich aber in der nördlichen Erdhälfte als Nordostwind, in der südlichen als Südostwind zeigt, und zwar jener aus dem Nordstrom und dem durch die Erdrotation hervorgebrachten Oststrome, dieser aus dem Süd- und dem Oststrome entstanden. Nur in den großen Meeren zeigen sich die Passatwinde in voller Regelmäßigkeit. Der nordöstliche erstreckt sich bis auf etwa 30°, der südöstliche bis auf 25° der entsprechenden Breiten; sie werden durch die Region der Windstillen oder Calmen von einander getrennt, einer nördlich vom Aequator gelegenen und etwa 6° breiten Zone, wo die Sonne die Luft am stärksten erwärmt, welche, indem sie aufs Lebhafteste aufsteigt, den horizontalen Strom mannichfach stört und ungeheure Massen Wasserdampf mit in die Höhe nimmt; weshalb in dieser Zone Windstille, Stürme und Gewitterregen mit einander abwechseln. In den oberen Luftregionen muß es in der nördlichen Erdhälfte einen Südwestwind, in der südlichen dagegen einen Nordwestwind geben, was auch Erfahrungen bestätigen, z. B. wenn auf der Spitze des Pics von Teneriffa ein südwestlicher Wind weht, findet unten am Meere bei der Insel ein Nordost-Passatwind statt. Da der warme obere Strom, je weiter er nach den Polen hingelangt, in desto kältere Regionen kommt, so muß er, durch die Erkaltung spezifisch schwerer geworden, sich senken, weshalb die beiden Ströme in den gemäßigten Zonen häufig nicht über-, sondern neben einander fortgehen und an einem und demselben Orte mit einander abwechseln, so daß wir Nordostwind oder Südwestwind haben, je nachdem die polare Luftströmung oder die ursprünglich höhere äquatoreale, welche in Folge der Abkühlung sich herabgesenkt hat, weht. Das Zusammentreffen der beiden Ströme, das Eindringen des einen in den anderen, das Verdrängen endlich des einen durch den anderen bewirken eine Drehung der Windrichtung. Bei uns dreht sich der Wind im Allgemeinen von Norden nach Osten, Süden, Westen — von welchem Drehungsgesetze des Windes Dove die vollständigste Erklärung gegeben hat. — Die Moussons wehen in der Nähe einiger Küstenländer des indischen Ozeans zwischen den Wendekreisen,

z. B. in Vorderindien, vom April bis Oktober Süd-West, in der anderen Hälfte aber nach der entgegengesetzten Richtung; so wie die Land- und Seewinde auf Inseln, am Tage von der See her, in der Nacht vom Lande her. Die letzteren werden genügend aus der ungleichen Erwärmung des Landes und des Meeres am Tage und in der Nacht erklärt. Am Tage wird nämlich durch die Sonne das Land mehr als das Meer erwärmt und hat daher die dünnere Luft; nach dem Untergange der Sonne aber kühlt sich die Erde bedeutend schneller als das Meer ab (wahrscheinlich deshalb, weil das erkaltete obere Wasser spezifisch schwerer geworden, sich herabsenkt, und wärmeres an seine Stelle heraufkommt), und erhält dadurch die dichtere Luft; woraus, da die dichtere Luft immer nach der dünneren strömt, die entgegengesetzten Luftströmungen am Tage und in der Nacht in der angegebenen Art nothwendig sind. — Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit unseren Morgen- und Abendwinden bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, wobei die Erde auf ihrer Tagseite von der Sonne erwärmt wird, während ihre Nachtseite, da die Sonne da abwesend ist, erkaltet. So muß auch wegen ungleicher Erwärmung der Luft Wind entstehen, wenn eine große Wolke vor die Sonne tritt. Die durch sie beschattete Luft kühlt sich nämlich ab, wird dichter und senkt sich, während benachbarte Luft, die von der Sonne beschienen wurde und unverändert ihre Dichtigkeit behielt oder vielleicht gar dünner wurde, jetzt als die spezifisch leichtere Luft an ihrer Stelle strömt und zugleich die Wolke fortbewegt.

Benutzung der Passatwinde bei Seereisen. Zu den unbeständigen, der Gesundheit nachtheiligen Winden gehören z. B. der Harmattan an der Westküste Afrika's, der Chamsin in Aegypten, der Samum (Smum, Samiel) in Arabien, Persien, Syrien, der aus Afrika's Sandwüste kommende Sirocco in Sizilien und Italien u. s. w. — Dove's Windtheorie.

3) Gewöhnlich wehen die Winde horizontal, zuweilen aber auch auf- oder niedersteigend; ihre Geschwindigkeit und die davon abhängende Stärke der Wirkung sind sehr verschieden, daher die Ausdrücke: gelinder Wind, starker oder heftiger Wind, Sturm, Orkan. Ein gewöhnlicher Wind hat 10 bis 12, ein starker heftiger Wind 25 bis 30, ein Sturm 40 bis 60, ein Orkan, der Bäume entwurzelt und Häuser niederreißt, 100 bis 120 Fuß Geschwindigkeit.

Die Wirbelwinde, Tromben, auch Luftsäulen, die sich gewaltsam um sich selbst drehen und zugleich fortrücken, entstehen, wenn starke Winde einander entgegenblasen, an der Stelle, wo sie zusammentreffen. Ihre Wirkung ist furchtbar; sie reißen Bäume und Häuser nieder, führen Vieh, Menschen, auch andere Körper, auf die sie treffen, mit sich fort. Wenn sie sich über Flüssen, Seen oder Meeren bilden, wobei sie Wasser zu einer Höhe von Hunderten von Fußen heben, heißen sie Wasserhosen.

Sandwirbel, Sandsäulen. Die Winde reinigen die Luft von allen schädlichen Dünsten. — Anemoskope oder Plageskope und Anemometer. — Bei den Wind- und Wasserhosen mögen auch elektrische Kräfte mitwirken.

III. Das Wasser der Meere, Seen, Flüsse und der feuchten festen Oberfläche der Erde verdunstet beständig, und zwar desto stärker, je höher die Temperatur und je größer der Luftzug ist (191). Dieses verdunstete und anfangs als Wassergas in der Atmosphäre enthaltene Wasser kommt auf die Erde, wenn auch selten an die Orte, an welchen es verdunstete, in mancherlei Formen zurück, meist dadurch, daß es durch Erkalten die Gasform verloren hat, und flüssig, wie beim Thau und Regen, oder fest, wie beim Reif, Schnee und Hagel, geworden ist; auf Verdunstung und Niederschlag beruhen alle Hydrometeore.

1) Dieses Wassergas, an sich durchsichtig, wird bei abnehmender Wärme zu Dunst, welcher, aus Wasserbläschen bestehend, die Atmosphäre weniger durchsichtig macht und sich auf kältere Körper als Wassertropfen niederschlägt und den Thau bildet. Nach Sonnenuntergang kühlt sich die Luft ab, zunächst und am meisten die untersten Schichten, welche zugleich das meiste Wassergas enthalten, später, wenn die Sonne tiefer unter den Horizont sinkt, auch die höheren Luftschichten. In den untersten könnte sich daher zuerst ein Niederschlag der Wasserdünste zu Wassertröpfchen bilden, welche durch die späteren Niederschläge aus den höheren vermehrt und vergrößert würden. Da aber diese Niederschläge sich nicht gleichförmig über alle Körper verbreiten, wie etwa der Regen, sondern nur über diejenigen, welche kälter als die Luft sind, so daß sie desto mehr bethauen, je kälter sie sind, dieses aber von ihrer Wärmeausströmung abhängt, so läßt sich die ungleiche Stärke des Thaues auf verschiedenen Körpern wohl nur so erklären: je größer eines Körpers Wärmeausstrahlung ist, desto schneller und tiefer kommt seine Temperatur unter die der umgebenden Luft (2, 6, oft 8°), und desto schneller und reichlicher schlägt sich auf ihn der in dieser Luft enthaltene Wasserdunst als Thau nieder. Polirte Metalle und Steine bethauen daher wenig; viel aber Glas, Seide, Baumwolle, Gras und die niederen Pflanzen, für welche der Thau ein Regen ist. Da der Thau nicht blos von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wassergase, sondern auch von dem Unterschiede der Tag- und Nachttemperatur abhängt, so bildet er sich am häufigsten im Frühjahre und Herbste, besonders in heiteren und windstillen Nächten, in denen wärmere Luftschichten die Wärmeausstrahlung nicht ersetzen, die nöthige Erkaltung der Körper also nicht verhindern können. — Wells 1814.

2) Der Reif ist gefrorener Thau auf Körpern, die durch Ausstrahlung ihrer Wärme unter den Gefrierpunkt erkaltet sind. Durch die in unseren Wohnstuben enthaltene Feuchtigkeit bethauen die kalten Fenster, und bei hinlänglich starker Abkühlung derselben verwandelt sich hierauf der entstandene Thau in Eis; eben so bethauen auch im Winter, wenn auf kalte Winde warme folgen, oder wenn, namentlich zu Ende des Winters, die Kälte plötzlich nachläßt und Thau-

wetter erfolgt, die Mauern der Gebäude, die Bäume, die Brücken u. s. w., durch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit, und dieser Thau gefriert oder wird zum Reif durch die Kälte jener Gegenstände, welche langsamer erwärmt werden, als die Luft, da sie schlechtere Wärmeleiter sind. Man nennt diese Erscheinung das Beschlagen der Gebäude ꝛc.

3) Der Nebel und die Wolke sind verdichtete Wasserdünste; sie unterscheiden sich von einander durch die Höhe, in welcher sie sich über der Erde befinden. Der Nebel ist eine niedrig schwebende Wolke; eine Wolke ist ein Nebel in den höheren Regionen der Atmosphäre. Sie entstehen beide durch Erkalten des Wassergases, wodurch dieses zu Wasserdunst, zu hohlen kleinen Wasserbläschen, welche in der Luft schweben, verdichtet wird, wie der Hauch des Menschen bei kalter Luft; bei den Wolken geschieht das in desto höheren Regionen der Atmosphäre, je wärmer es ist. Je mehr sich die Wasserdünste verdichten, desto dunkler sehen die Wolken aus, und haben sie sich so stark verdichtet, daß sie schwerer als die sie tragende Luft sind, so senkt sich die Wolke nieder, bewegt sich aber auch oft wieder in die Höhe, wenn sie durch die unteren merklich wärmeren Luftschichten leichter wird. Die Kälte, welche zur Verwandlung des Wassergases in Wasserdunst nothwendig ist, ist entweder die bei der allgemeinen Abkühlung der Atmosphäre nach Sonnenuntergang eintretende Kälte, oder die Kälte der höheren Luftregionen, welche das aufsteigende Wassergas von selbst erreicht, oder die Kälte der Winde, welche sich mit wärmerer und mit Wasserdünsten gesättigter Luft mengen, oder auch endlich die Kälte von Körpern, wofür es an Belegen nicht fehlt. Die gewöhnlichsten Wolken mögen wohl entstehen, indem die unteren mehr erwärmten und also spezifisch leichteren Luftschichten sich erheben, und das gleichzeitig entstandene Wassergas in die kälteren Gegenden mit sich nehmen; über Inseln lagern sich Wolken; die Nebel über Gewässern nach Sonnenuntergang entstehen, indem die kältere Luft vom festen Lande über die Wasserfläche strömt und das über derselben sich befindende Wassergas verdichtet; an die Spitzen der Berge legen sich Wolken an, weil die sie umgebende Luft wärmer ist u. s. w. Wolken und Nebel verschwinden durch den Wind, durch Erhöhung der Lufttemperatur oder wenn Regen erfolgt.

Howard — Forster. — Die Hauptarten der Wolken sind die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus); abgeleitete Formen sind die fedrige Haufenwolke, die Schäfchen (cirro-cumulus), die fedrige Schichtwolke (cirro-stratus), die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte fedrige Schichtwolke oder die Regenwolke (nimbus). Die Federwolken sind die höchsten Wolken, denn selbst von hohen Bergen betrachtet zeigen sie dieselben Gestalten. Starke, dicke Nebel an den Küsten von Neufundland; in London verstärkt durch Steinkohlenrauch. — Trockene Nebel sind Rauch, bestehend aus verflüchtigten trockenen Körperchen; Haarrauch oder Höhenrauch wird erklärt durch einen Verbrennungsprozeß, z. B. bei vulkanischen Ausbrüchen, durch Abbrennen der Torfmoore in Holland und Westphalen, starken Steinkohlenverbrauch u. s. w.

4) Der **Regen** ist ein durch Abkühlung der Luft herbeigeführter Niederschlag des die Wolken bildenden Wasserdunstes. Die Wasserbläschen vereinigen sich zu Tropfen, welche wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes, in Vergleich mit der Luft, herabfallen. Der Regen fällt wohl immer aus Wolken: entweder die mit Wasserdampf gesättigte Wolke wird durch einen kalten Wind abgekühlt, oder der Wind bringt eine warme, feuchte Luft in eine kalte Luftschicht. Die meisten Regenwolken Europa's haben ohne Zweifel ihren Ursprung im atlantischen Meere, daher die jährliche Regenmenge an jener Küste (Bergen 77″, Bordeaux 24″) bedeutender als im mittleren Deutschland (Breslau 18″). Die Regentropfen wachsen während des Herabfallens, indem sie sich theils mit den Bläschen, auf welche sie stoßen, vereinigen, theils aber das Wassergas in den unteren wärmeren Luftschichten als kältere Körper niederschlagen; sie werden daher desto größer, je höher die regnende Wolke steht und je größer der Unterschied der Temperaturen der oberen und unteren Luftschichten ist.

Staubregen, Strichregen, Platzregen, Landregen, Wolkenbruch, Gewitterregen. — Der Durchmesser eines starken Regentropfens zwischen den Wendekreisen ist 1/4 Zoll, unter dem Aequator aber oft 1 Zoll, weil sich da wegen der größeren Erwärmung der Atmosphäre die Wolken in weit größeren Höhen bilden; weshalb der Tropfen mit solcher Geschwindigkeit auffällt, daß er auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl hervorbringt. Warum sind die ersten Tropfen eines jeden Regens größer als die nachfolgenden? — Ombrometer — Hyetometer. — Die jährliche Regenmenge eines Ortes hängt ab von seiner geographischen Breite, von seiner Erhebung über die Meeresfläche und von seiner Entfernung vom Meere; sie beträgt am Aequator mehr als in den gemäßigten Zonen — dort etwa 8, hier 2 Fuß —, auf den Gebirgen und an den Küsten mehr als in den Ebenen. Sehr gering ist der Regenfall in der Wüste Sahara, an den Küsten von Peru. Periodische Regen in der heißen Zone, wann die Sonne im Zenith steht. Aber selbst an einem und demselben Orte ist die jährliche Regenmenge in verschiedenen Jahren verschieden groß, z. B. in Heidelberg betrug sie 15,4 Pariser Zoll im Jahre 1822, dagegen 33,6 Zoll im Jahre 1824. Für die Erde im Ganzen rechnet man 30″ jährlichen Regenfall und daß die Verdunstung eben so viel beträgt. — Der sogenannte **Blutregen** ist animalischen, vegetabilischen oder mineralischen Ursprunges, so wie der **Schwefelregen** vegetabilischen, da das gefallene gelbe oder röthliche Pulver Blüthenstaub von Erlen, Fichten, Birken &c. war. — **Steinregen** wird oft das Herabfallen der Meteorsteine aus der Atmosphäre auf die Erde genannt. Wir merken uns hier gelegentlich darüber Folgendes. — Die **Feuerkugeln** oder Meteorsteine, leuchtende, außerordentlich schnell sich bewegende Kugeln, die zuweilen einen glänzenden Schweif von Funken nach sich ziehen und oft die scheinbare Größe des Mondes haben, fallen wirklich zur Erde, wie am 30. Januar 1868 östlich von Pultusk. Wenn sie zuerst sichtbar werden, scheinen sie horizontal fortzugehen, dann neigen sie sich zur Erde, zuerst sehr wenig, in der unteren Luft dagegen schnell. Sie zerspringen oft vor dem Niederfallen mit furchtbarem Getöse und geben einen **Steinregen**. Ihre Bestandtheile sind Kieselerde, Talkerde, Eisen, Nickel, Schwefel, auch Mangan, Chrom und Kohle. Man kann sich wohl denken, daß durch schnelle Bewegung einer Feuerkugel die Luft vor ihr sehr verdichtet und dadurch so viel Wärme erzeugt wird, daß die Masse glühend wird, der inwendig sich befindende Schwefel Gasform annimmt und die Kugel sprengt. Wo die Meteorsteine entstehen, weiß man noch nicht. Einige (die Kosmisten) meinen, und wohl höchst wahrscheinlich mit Recht, die Meteorsteine seien außer-

ordentlich kleine Planeten, die auf ihrer Bahn um die Sonne der Erde so nahe kommen, daß diese sie an sich zieht; früher hielten andere (die Lunaristen) sie für Auswürfe der Mondvulkane, welche ebenfalls in die Anziehungssphäre der Erde gekommen sind; noch andere (die Telluristen) für Auswürfe der Erdvulkane, wiewohl sie da eine andere Bahn, die der ballistischen Kurve, haben müßten; noch andere (die Atmosphäristen) endlich nahmen die Atmosphäre für ihre Bildungsstätte, wo sie etwa durch einen Niederschlag ihrer von der Erde verflüchtigten Bestandtheile, die aber alle, der Schwefel ausgenommen, feuerbeständig sind, entstanden sein können. Die Sternschnuppen, scheinbar niederfallende Sterne, sind vielleicht kleine Feuerkugeln; sie zeigen sich in der Atmosphäre in sehr verschiedener Höhe von 1 bis 50 Meilen und zuweilen darüber, und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen, meist herabwärts, aber auch horizontal und sogar aufwärts, was Bessel aber leugnet; die meisten kommen aus der Gegend des Sternbildes des Löwen. Periodischer großer Sternschnuppenfall um den 10. August uud den 12. November (1799 Alexander von Humboldt). — Chladni, Brandes, Benzenberg, v. Boguslawski, Bessel.

5) Der Schnee entsteht wahrscheinlich dadurch, daß die aus den Wasserbläschen der Wolken bei einer Temperatur unter dem Gefrierpunkte sich bildenden Wassertröpfchen gefrieren und sich an einander hängen. Der Schnee besteht aus äußerst kleinen nadelförmigen Krystallen, die bei hinreichender Ruhe der Atmosphäre, indem sie sich unter Winkeln von 60° und 120° auf sehr mannichfache Art verbinden, als sehr schöne Eissternchen (§ 23), bei unruhiger Atmosphäre dagegen zerstückelt, oder als sogenannte Schneeflocken zur Erde fallen. Es schneit der Regel nach nur an weniger kalten und dabei feuchten Tagen des Winters; der Schnee, welcher an kalten stürmischen Tagen bei Nordwind fällt, mag wohl in der Luft, die aus wärmeren Ländern kommt und in den höheren Regionen der Atmosphäre über unserer kälteren Luft in entgegengesetzter Richtung strömt, entstanden sein. Es schneit oft oben, während es unten regnet, wenn die unteren Luftschichten so erwärmt sind, daß der in sie gelangende Schnee schmilzt.

Unter der Schneelinie oder Schneeregion versteht man diejenige Höhe in der Atmosphäre, in welcher wegen der mit der Höhe abnehmenden Wärme die Kälte so groß ist, daß der Schnee nie schmilzt, also ewig liegen bleibt. Sie liegt nicht an allen Orten der Erde gleich hoch; am Aequator am höchsten (über 14,000 Fuß) und nimmt von da nach den Polen, in deren Nähe sie die Erde berührt, an Höhe ab. — Gletscher, Schneelawinen.

6) Die Schloßen sind gefrorene Regentropfen. Sie sind undurchsichtige Eiskügelchen, in deren Mitte sich ein weißer durchsichtiger Kern, welcher der eigentliche gefrorene Regentropfen zu sein scheint, befindet. Dieser Kern vergrößert sich durch eine undurchsichtige Kruste, indem er Wassergas während des Fallens an sich niederschlägt. Durch das Zusammenfrieren der Schloßen entsteht der Hagel; die Hagelkörner haben nicht selten die Größe von welschen Nüssen, in seltneren Fällen sogar ein Gewicht von 20 und mehr Lothen, und können daher ganze Saaten vernichten. Es hagelt nach den bisher gemachten Erfahrungen fast nur im Sommer, selten zur Nachtzeit und vorzugs-

weise in den gemäßigten Zonen. Wie im Sommer die so große zur Bildung des Hagels erforderliche Kälte plötzlich entsteht, weiß man noch nicht zu sagen.

Hagelableiter.

Wenn nun auch die Sommerwärme und Winterkälte durch die Stellung der Erde zur Sonne hervorgebracht werden, so werden doch die größeren Veränderungen derselben durch die Beschaffenheit des Bodens, durch nahe liegende Berge, Seen, Meere, vorzüglich aber durch Winde, so wie die kleineren durch Verdunstung, Nebel, Regen, Hagel 2c. bewirkt.

Neunter Abschnitt.

Von dem Magnetismus.

1. Vom Magneten im Allgemeinen.

193. 1) Magnete sind solche Körper, welche die zwei Haupteigenschaften haben, daß sie 1) Eisen und eisenhaltige Körper anziehen und festhalten, und 2) ~~wenn sie sich frei bewegen können, immer eine bestimmte Richtung oder Lage im Weltraume annehmen.~~ Magnetismus bezeichnet entweder den Inbegriff aller Erscheinungen an den Magneten, oder den Zustand der Körper, in welchem sie magnetische Erscheinungen zeigen, oder die Kraft der Magnete, welche die Erscheinungen bewirkt. Magnetische Materie.

2) Es giebt natürliche und künstliche Magnete. Der natürliche Magnet (Magnetstein oder Magneteisenstein) ist ein schwärzliches Eisenerz, welches den Magnetismus ursprünglich oder von Natur besitzt; der künstliche dagegen ist Eisen, in welchem durch künstliche Behandlung (§ 197) der Magnetismus erst erregt, oder welchem, wie man gewöhnlich sagen hört, derselbe erst mitgetheilt worden ist. Man unterscheidet daher auch natürlichen und mitgetheilten Magnetismus. Von beiden Arten der Magnete gelten genau dieselben Gesetze.

Die künstlichen Magnete kommen vorzugsweise in drei Formen vor: in Form der Magnetstäbe oder Parallelepipeden, der Hufeisen und der Nadeln. Natürliche Magnete (Eisen-Oxydoxydul: Fe 72,4 + O 27,6) findet man, theils in derben Stücken, theils in Oktaedern krystallisirt, in Norwegen, Schweden, Ungarn, Böhmen, Deutschland u. s. w., auch in Amerika und Asien, wo er bei Magnesia in Lydien, in den ältesten Zeiten, zuerst gefunden worden sein soll, was auch als Grund der Benennung angenommen wird; Homer, Pythagoras, Plato und die ägyptischen Priester kannten ihn schon. Der Magnetstein ist

jedoch nicht schon am Orte der Lagerung magnetisch, sondern wird es erst, wenn er an der Oberfläche der Erde, der Luft ausgesetzt, eine Zeit lang gelegen hat. Im Schlosse zu Florenz ist ein Magnetstein von 5000 Pfd., und im Museum zu Harlem ein solcher von 307 Pfd. Gewicht.

3) Die Anziehung eines Magneten findet sowohl im luftleeren, als lufterfüllten Raume mit unveränderter Stärke durch alle Körper statt, d. h. wenn sich auch andere Körper, wie z. B. Holz, Glas, Papier zwischen dem Magnete und Eisen befinden, so wird dieses dennoch angezogen. Nur solche Körper, welche selbst magnetisch werden können, machen eine Ausnahme; daher der Magnet durch ein Eisenblech keine Anziehung ausübt.

In Nadelfabriken kann der beim Zuspitzen der Nähnadel entstandene Eisenstaub durch in der Nähe angebrachte Magnete vom Gesichte der Arbeiter abgehalten und dadurch unschädlich gemacht werden. — Herausziehen von Eisensplittern aus den Augen. — Trennung der Eisenfeile aus Mischungen derselben mit Messingfeilen. — Taschenspieler bewirken viele Künste durch in Kleidern und Geräthschaften versteckte Magnete. Außer Eisen werden auch Nickel, Kobalt und Mangan von Magneten angezogen; von Eisen selbst aber das weiche stärker als das harte.

4) Der Magnet zieht aber nicht an allen Stellen gleich stark an. **Pole** heißen die beiden Stellen der stärksten Anziehung, und die sie verbindende gerade Linie heißt die **Achse** des Magneten. Die Anziehung nimmt von den Polen nach der Mitte hin ab, wo sich eine gegen Anziehung gleichgültige Stelle, die **Indifferenzstelle** oder der **Nullpunkt**, befindet. Man erkennt die beiden Pole am besten, wenn man den Magneten mit Eisenfeilspänen bestreuet; denn diese werden da am zahlreichsten angezogen, reihen sich zu Fäden an einander, welche aus einander gehend gleichsam Bärte bilden, welche Erscheinung später ihre Erklärung finden wird. (§ 196.)

Anomalische Magnete, d. i. solche, welche mehr als zwei Pole haben, sind als aus mehreren Magneten zusammengewachsen zu betrachten.

5) Die bestimmte Richtung im Weltraume, welche der Magnet bei freier Bewegung annimmt, ist von der Art, daß sich der eine Pol immer nach der nördlichen, der andere aber immer nach der südlichen Himmelsgegend wendet. Jener heißt deshalb der **Nordpol**, dieser der **Südpol**, und die Eigenschaft eines Magneten, diese Richtung anzunehmen, die **magnetische Polarität**.

Man giebt einem Magneten eine freie Bewegung, indem man ihn auf Quecksilber frei legt, oder auf Wasser mittelst eines Korkstückes oder eines runden Schachteldeckels, oder indem man ihn im Schwerpunkt unterstützt oder aufhängt. Eine auf Wasser gelegte magnetisirte Nähnadel zeigt die magnetische Polarität. Die Anziehung des Magnetsteins kannten die Griechen schon zur Zeit des **Thales** von Milet, 600 v. Chr., und die magnetische Richtungskraft die Chinesen wohl über 1000 Jahre v. Chr.; in Europa aber wurde die Magnetnadel erst im 12. Jahrhundert bekannt.

194. 1) Erhalten und verstärkt wird die Kraft eines Magneten, wenn er beständig **beschäftigt** ist, d. h. wenn er ein so großes Gewicht, als er zu tragen im Stande ist, wirklich zu tragen erhält,

und wenn dieses Gewicht täglich um etwas vermehrt wird. Auch die sogenannte Armatur oder Bewaffnung verstärkt die Kraft eines natürlichen Magneten. Armirt wird er, indem die Stellung der Pole abgeschliffen und mit Platten von weichem Eisen belegt werden. Diese Platten, an den Magneten angeschraubt, enden an einer Seite desselben in dickeren Füßen, die künstlichen Pole genannt, an welche ein Eisenstück, der Anker, versehen mit einem Haken zum Aufhängen von Gewichten, gelegt wird. Beide Pole wirken hier, wie beim Hufeisenmagneten, mit vereinter Kraft nach einer und derselben Seite (§ 196).

Ein Magnet trägt armirt ein 10—40 Mal, die kleinen sogar oft ein 200—300 Mal so großes Gewicht, als ein unarmirter. Der armirte 307 Pfund schwere Magnetstein in Harlem trägt 230 Pfd. — Der Magnet der École polytechnique in Paris wiegt 67 Kilogramm und hat eine Tragkraft von 275 Kilogramm.

2) Geschwächt wird ein Magnet, wenn man ihn unbeschäftigt läßt, oder ihn zu sehr beschwert, ihn heftigen Erschütterungen aussetzt, die Gewichte plötzlich und oft abreißt; vorzüglich aber, wenn große Wärme und Feuchtigkeit, durch welche letztere er rostet, auf ihn wirken. Weißglühhitze benimmt dem Magneten sogleich alle Kraft. Auch ist die Richtung, in welcher ein Magnet liegt oder hängt, nicht gleichgültig; es ist am besten, seinen Nordpol nach Norden, also seinen Südpol nach Süden zu richten, wenn er nicht von selbst diese Lage anzunehmen im Stande ist.

Magnetisch gewordenen Urtheilen (§ 199) kann man den Magnetismus durch Glühen benehmen, einem Stahlmagneten schon durch Eintauchen in kochendes Mandelöl. Im Sommer ist ein Magnet schwächer, als im Winter; die Kraft eines Magneten nimmt ab, indem das Hygrometer steigt; künstliche Magnete werden lackirt, um die Feuchtigkeit von ihnen abzuhalten.

2. Von der magnetischen Anziehung, Abstoßung, Vertheilung oder Influenz und Mittheilung.

195. 1) Durch zwei Magnete, von denen einer eine freie Bewegung hat, während man den andern in der Hand hält, kann man das Verhalten zweier Magnete überhaupt zu einander veranschaulichen. Man findet, daß sich sowohl die Nordpole als auch die Südpole abstoßen; daß aber der Nordpol des einen und der Südpol des andern sich einander stets anziehen. Diese entgegengesetzten Erscheinungen veranlaßten die Annahme zweier entgegengesetzter Magnetismen, nämlich des Nordmagnetismus, als Magnetismus des Nordpoles, und des Südmagnetismus, als Magnetismus des Südpoles eines Magneten. Jenen bezeichnet man mit + M, diesen mit — M, und spricht das jenen Erscheinungen zu Grunde liegende Gesetz so aus: Ungleichnamige Magnetismen ziehen sich an; gleichnamige stoßen sich ab, oder

als Gesetz der Anziehung: + M und — M } ziehen sich an,
oder: — M und + M
als Gesetz der Abstoßung: + M und + M } stoßen sich ab.
ebenso: — M und — M

Weil sich die ungleichnamigen Pole gleichsam wie Freunde suchen, die gleichnamigen aber wie Feinde fliehen, nennt man jene auch freundschaftliche, diese aber feindschaftliche Pole. Wie bestimmt man die Pole eines Magneten mittelst eines zweiten Magneten, dessen Pole bekannt sind? Magnetische Spielwerke, z. B. magnetische Fische, Enten, schnäbelnde Tauben u. s. w. — Wenn man den in der nördlichen Hemisphäre wirkenden (§ 199) den Nord-Magnetismus nennt, so muß das nach N weisende Ende der Magnetnadel den Südmagnetismus haben.

2) Die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung nimmt mit der Entfernung ab, und zwar nach Koulomb's scharfsinnigen Versuchen, so wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, welches Gesetz in neuerer Zeit Hansteen und besonders Gauß entschieden nachgewiesen haben (§§ 25, 144, 152, 187).

196. 1) Nächst den Gesetzen der Anziehung und Abstoßung ist vorzüglich wichtig das Gesetz der Vertheilung oder der Influenz, welches so lautet: Jeder Pol bringt in dem zugewendeten Ende eines genäherten eisernen Körpers den entgegengesetzten, in dem entfernteren Ende dagegen denselben Magnetismus hervor, oder:

+ M erzeugt in seinem Wirkungskreise — M und + M,
— M erzeugt in seinem Wirkungskreise + M und — M,

bei welcher Bezeichnung selbstredend von den beiden erzeugten M das erste auf das genäherte, und das zweite auf das entferntere Ende des Körpers Bezug hat.

Nähert man dem Pole eines Magneten einen eisernen Stab, so wird dieser selbst zum Magneten (denn er zieht Eisenfeilspäne an) in der Art, daß das genäherte Ende den entgegengesetzten, das andere aber denselben Magnetismus erhält, was sich durch einen Magneten, dessen Pole bekannt sind, nach § 195 zeigen läßt. Die Magnetismen treten desto stärker hervor, je näher der Stab dem Magneten gebracht wird, am stärksten bei wirklicher Berührung.

Hängt erst eine Nähnadel an einem Magneten, so kann man eine ganze Reihe von Nähnadeln an einander hängen. Wird ein Magnetstab in Eisenfeilspäne gelegt, so bemerkt man an diesen ein Bestreben, sich so zu ordnen, daß sie krumme Linien, welche die beiden Pole verbinden, bilden; indem jedes der Eisenfeilspänchen ein Magnet wird. Bei einem Hufeisenmagneten entsteht eine Brücke von Eisenfeilspänen zwischen den Polen. Wird unter ein mit Eisenfeilspänchen bestreutes Papier ein Magnet gehalten, so stellen sich diese gleichsam zu Faden vereinigt, senkrecht auf; denn jedes wird ein Magnet und kehrt dem auf sie wirkenden Magneten den entgegengesetzten Pol zu. — Magnetische Figuren. — Auch ist die magnetische Vertheilung der Grund von der vermehrten Kraft eines armirten Magneten (§ 194) und von der Art, wie Magnetstäbe aufbewahrt werden, entweder nämlich mit dazwischen gelegten Ankerstäben, oder ohne diese, so daß sie parallel, aber mit entgegengesetzten Polen, an einander zu liegen kommen, welches letztere bei zwei Hufeisenmagneten an-

gewendet wird, und eben so bei den Magnetmagazinen, wo Stäbe oder Hufeisen zusammengepackt sind, damit sich ihre Kraft nicht vermindert. Daß das Gesetz „Gesetz der Vertheilung" heißt, beruht auf der Vorstellung, daß in jedem Eisen beide Magnetismen enthalten sind, aber an jeder Stelle mit einander gebunden, weshalb sie nach außen nicht wirken können, und daß die Einwirkung des Magneten auf das Eisen nur darin bestehe, daß er diese gebundenen Magnetismen frei macht oder sie vertheilt, wodurch sie in den entgegengesetzten Stabtheilen nach außen thätig werden. — Zerbricht man einen Magnetstab, etwa eine magnetische Stricknadel, so ist jedes Stück ein Magnet, dessen Pole mit den Polen des ganzen Magneten in derselben Richtung liegen, was darauf hindeutet, daß ein Magnet aus Theilchen besteht, deren jedes die beiden Magnetismen im getrennten und deshalb freien Zustande enthält, und zwar so, daß in allen der Nordmagnetismus nach derselben einen Seite, der Südmagnetismus nach der entgegengesetzten andern Seite gerichtet ist. — In den Gesetzen der Vertheilung und der Anziehung ist also der Grund enthalten, warum ein Magnet Eisen anzieht und festhält. Ein Körper, welcher vom Magneten gar nicht angezogen wird, kann auch nicht magnetisch werden; ein Körper, welcher von beiden Polen eines Magneten, wo auch immer die Annäherung oder Berührung stattfindet, angezogen wird, kann magnetisch werden; ein Körper endlich, welcher an derselben Stelle von einem Pole des Magneten angezogen, von dem andern aber abgestoßen wird, ist bereits ein Magnet.

2) Zwei Magnete mit entgegengesetzten Polen an einander gelegt, beschäftigen sich wechselseitig; werden aber zwei Magnete von gleicher Stärke mit gleichnamigen Polen an einander gebracht, so schwächen sie sich wechselseitig und hören nach längerer Zeit ganz auf, Magnete zu sein; waren sie aber von ungleicher Stärke, so verliert zunächst nach und nach der schwächere seinen Magnetismus ganz, erhält aber dann in Folge einer neuen durch den stärkeren bewirkten Vertheilung entgegengesetzte Polarität, so daß Nordpol wird, was früher Südpol war, und umgekehrt.

In den zusammengesetzten Magneten oder magnetischen Batterien, welche Stab- und Hufeisenbatterien sind, liegen die einzelnen Magnete von gleicher Stärke zwar mit gleichnamigen Polen an einander, aber in so unmittelbarer Berührung, daß sie nur als ein starker Magnet zu betrachten sind.

Die Depolarisirung magnetisch gewordener Uhrtheile kann auch, ohne daß sie glühend gemacht werden, so bewirkt werden (§ 194), daß man einen Pol bestimmt, ihn Eisenfeilspäne anziehen, dann auf denselben den gleichnamigen Pol eines stärkeren Magneten so lange wirken läßt, bis die Eisenfeilspäne abfallen. — Zwei Magnetstäbe mit ungleichen Polen an einander gelegt, heben weniger als jeder allein, oft gar nichts.

3) Nach von Faraday 1845 gemachten Entdeckungen wirkt ein Magnet auf alle Körper, indem die Pole eines recht kräftigen Magneten, besonders eines Elektromagnets (§ 221) dieselben entweder anziehen oder abstoßen. Die von den Polen angezogenen nennt er magnetische, die abgestoßenen diamagnetische Körper, und unterscheidet hiernach Magnetismus, auch Ferromagnetismus, und Diamagnetismus. Der zu untersuchende feste Körper in der Form eines Stäbchens und an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehangen — der flüssige Körper in einem an einem solchen Faden

hängenden Röhrchen von dünnem Glase eingeschlossen, stellen sich, horizontal zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisen-Magneten gebracht, entweder axial oder äquatoreal, d. h. entweder in der die Pole verbindenden geraden Linie oder senkrecht auf sie; im ersten Falle ist der Körper magnetisch (auch paramagnetisch, wohl so genannt, weil er sich neben oder bei den Polen stellt), im zweiten, wo seine Richtung die axiale Richtung durchschneidet, diamagnetisch. Auch Gase und Dämpfe, in Kugeln von dünnem Glase gebracht, werden von Magnetpolen angezogen oder abgestoßen, sind also ebenfalls magnetisch oder diamagnetisch. Bei diesen Versuchen werden auf die Enden des mit seiner Oeffnung nach oben senkrecht gestellten Elektromagneten Halbanker gelegt, an deren einem Ende sich kegelförmige Ansätze befinden, welche nach innen gekehrt die Magnetpole vorstellen, die durch Verschiebung der Anker nach Erforderniß des Experiments in die nöthige Entfernung von einander gebracht werden können (§ 229, Schlußbemerkung).

Magnetisch sind von den Metallen, an Stärke abnehmend: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom, Cerium, Titan, Palladium, Platina, Osmium. Diamagnetisch dagegen, an Stärke abnehmend: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Natrium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram. — Von andern festen Körpern sind magnetisch z. B. Papier, Siegellack, Marmor, Flußspath, Turmalin, Zinnober Kohle; diamagnetisch z. B. Bergkrystall, Phosphor, Schwefel, Harz, Zucker, Stärke, Holz, Elfenbein, Brot, Aepfel, frisches Rindfleisch. — Von den flüssigen Körpern sind magnetisch z. B. konzentrirte Auflösung vom Eisenchlorid, schwächer Eisenchlorüre und Eisenvitriol, diamagnetisch aber Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Oele, Milch, Blut. — Von den luftförmigen Körpern ist magnetisch nur Sauerstoffgas, diamagnetisch dagegen alle übrigen Gasarten. Die Flammen sind diamagnetisch, und zwar im höheren Grade diamagnetisch, als die umgebende Luft; da sie nichts anderes sind, als durch den Verbrennungsprozeß erzeugte Gasarten, theils mit beigemischten festen Stoffen (Kohle, Phosphor), welche glühen, theils ohne solche; die Flamme einer Kerze wird daher von kräftigen Magnetpolen sichtbar abgestoßen, niedergedrückt, zusammengedrückt, je nachdem sie ihnen nur genähert oder zwischen sie gehalten wird. Plücker hat mannichfaltige, die Erkenntniß des Diamagnetismus fördernde Versuche gemacht; sehr interessant ist die Untersuchung der Flüssigkeiten in Uhrgläsern oder auf Glimmerblättchen, die auf die einander sehr genäherten Halbanker, nach vorangegangener Entfernung der kegelförmigen Ansätze, gelegt werden.

197. Das weiche Eisen nimmt den Magnetismus leichter an, verliert ihn aber auch wieder schneller; dagegen im gehärteten Eisen, Stahl, läßt sich die Vertheilung (§ 196, 1) schwieriger hervorrufen, verschwindet aber weit langsamer; es läßt sich daher in ihm auch ein fortdauernder Magnetismus erregen, wodurch künstliche Magnete entstehen, besonders durch Streichen mittelst eines natürlichen oder künstlichen Magneten. Man unterscheidet hier vorzüglich den einfachen Strich, den Doppelstrich und den Kreisstrich.

1) Man magnetisirt einen Stahlstab durch den einfachen Strich, wenn man den einen Pol eines Magnetstabes in der Mitte desselben

unter einem spitzen Winkel von 25 bis 30° aufsetzt, von da nach dem einen Ende hinstreicht, hier absetzt, auf einem Umwege nach der Mitte zurückkehrt, hier wieder denselben Pol aufsetzt und dieses Streichen der einen Hälfte 20 — 30 Mal wiederholt; hierauf streicht man mit dem andern Pole eben so oft die andere Hälfte. Der Nordpol des neuen Magneten ist in der Hälfte, welche mit dem Südpole; der Südpol in der Hälfte, welche mit dem Nordpole bestrichen worden ist. Auch kann man den Magneten, statt in der Mitte, an einem Ende, des Stabes ansetzen, bis an das andere fortziehen und hier absetzend dieses Verfahren öfter wiederholen. — Man magnetisirt einen Stahlstab durch den Doppelstrich, wenn man beide Pole eines Hufeisenmagneten zugleich in der Mitte aufsetzt, diesen von da nach einem Ende hinführt, nicht absetzt, sondern ihn bis an das andere Ende zurückführt, von da wieder nach dem ersten Ende u. s. w., zuletzt aber in der Mitte den Magneten vom Stabe wegnimmt. Das Ende, nach welchem dabei der Nordpol gerichtet war, enthält den Südpol und umgekehrt. — Der Kreisstrich wird ausgeführt, indem man vier Stahlstäbe in ein rechtwinkliges Viereck zusammenstellt, auf den einen, wie beim Doppelstrich, entgegengesetzte Pole aufsetzt und sie in derselben Richtung einige Male herumführt.

Nach Hoffer wird ein hufeisenförmiger Stahlstab schnell und stark magnetisch, wenn man seine Enden durch einen Anker aus weichem Eisen schließt, möglichst nahe an demselben einen Hufeisenmagnet aufsetzt, diesen gleichförmig bis über die Wölbung einige Male hinzieht. Weniger zweckmäßig ist es, von der Wölbung nach den Enden zu streichen. Der so entstandene Magnet hat nicht nur an den Enden, sondern auch an der Wölbung entgegengesetzte Pole; bei dem Striche von den Enden nach der Wölbung werden die Pole der Enden mit den berührenden gleichnamig, die der Wölbung ungleichnamig, während in dem andern Falle die Pole entgegengesetzt hervortreten.

Man legt auch an beide Enden des zu magnetisirenden Eisenstabes Magnetbündel. Den einfachen Strich kann man auch durch einen Hufeisenmagneten, so wie den Doppelstrich durch zwei parallel gehaltene Magnetstäbe vollführen. — Das Verfahren, im Eisen durch Streichen mit einem Magneten Magnetismus hervorzubringen, heißt Mittheilung des Magnetismus, wiewohl kein Mittheilen, da der gebrauchte Magnet an Kraft nicht verliert, sondern nur ein Vertheilen des Magnetismus stattfindet. Immer erhält der Magnet beide Pole; denn es ist nicht möglich ihn so darzustellen, daß er nur Süd- oder nur Nord-Magnetismus zeige. Die Kraft, welche der Vertheilung oder Trennung der beiden Magnetismen widerstrebt, heißt Koerzitivkraft. — Sättigungsgrad eines Magneten. — Einen Magneten mit drei Polen erhält man, wenn man eine Stahlnadel in ihrer Mitte mit einem Magnetpole berührt; die berührte Stelle erhält den entgegengesetzten Pol, die Enden der Stahlnadel aber gleichnamige Pole. Einen Magneten mit vier Polen erhält man, wenn man einen Stahlstab mit seiner Mitte über beide Pole eines Hufeisenmagneten legt; die berührten Stellen erhalten die entgegengesetzten Pole der Enden des Magneten und die Enden des Stabes

die diesen zwei entstandenen Polen entsprechenden entgegengesetzten Pole. — Magnetische Folgepunkte oder Konsequenzpunkte.

2) Im Eisen läßt sich auch durch Reibung mittelst anderer Körper Magnetismus erregen, welches dadurch sehr befördert wird, daß der zu magnetisirende Stab in der Richtung eines freischwebenden Magneten liegt, was auch bei den in (1) erklärten Streichmethoden vortheilhaft ist.

Eiserne, vielgebrauchte Werkzeuge, wie Feilen, Bohrer, Sägen, Zangen, Schrauben u. s. w., sind oft magnetisch. Wahrscheinlich wirkt hier der Erdmagnetismus und die durch die Reibung erzeugte Wärme magnetisirend, wovon ein späterer Abschnitt handelt.

3) Eisenstäbe nehmen auch schon durch eine bestimmte Lage Magnetismus an, z. B. wenn sie senkrecht stehen; die vortheilhafteste Lage aber ist die mit der Richtung eines freischwebenden Magneten (§ 198, 3) parallele, wobei in der Nordhälfte der Erde das untere Ende den Nordpol, das obere den Südpol; in der Südhälfte der Erde aber das untere Ende den Südpol und das obere den Nordpol erhält. Die Annahme des Magnetismus durch die bloße Lage befördert man, wenn man dem Stabe am oberen Ende einige Schläge versetzt oder ihn in fast senkrechter Lage auf eine harte Unterlage oder auch nur auf den Boden fallen läßt.

Die senkrechten Stangen in eisernen Kreuzen der Kirchthürme, die Stäbe in eisernen Gittern u. s. w. sind oft magnetisch. Sehr interessant ist der Versuch mit einem etwas längeren Stabe aus weichem Eisen, in welchem man durch die bloße Umkehrung der Lage einen Wechsel der magnetischen Polarität hervorruft; etwas schief zur Erde gehalten, zeigt er sich durch seine Wirkung auf die Magnetnadel unten nordpolarisch, oben südpolarisch; wird er umgekehrt und läßt man ihn einige Male schwach auf den Boden aufschlagen, so zeigt er wieder unten Nord-, oben Südmagnetismus, so daß dasjenige Ende, welches vorhin als oberes Ende südpolarisch war, jetzt als unteres Ende nordpolarisch ist u. s. w. Diese Erscheinung hat ihren Grund in dem Erdmagnetismus, d. h. darin, daß die Erde selbst als Magnet auf das Eisen wirkt (§ 199).

4) In neuerer Zeit hat man Mittel gefunden, nicht blos Eisen, sondern alle Metalle ohne Unterschied magnetisch, wenn auch nur vorübergehend, zu machen. Seebeck hat entdeckt, daß man in den Metallen durch bloße ungleiche Erwärmung, und Oersted, daß man in den Metallen durch Elektrizität Magnetismus erregen könne. Die hieher gehörenden Erscheinungen werden in den Abschnitten vom Thermomagnetismus, von der Thermoelektrizität und vom Elektromagnetismus abgehandelt.

Morechini (1812) fand, daß Stahlnadeln in den violetten, — schwächer in den blauen und grünen — Strahlen des Sonnenspektrums magnetisch werden. Lady Sommerville 1825. (Photomagnetismus.) — Ueber den Rotationsmagnetismus siehe § 229 am Ende.

3. Vom Magnetismus der Erde.

188. 1) Die Magnetnadel ist ein künstlicher Magnet von Stahl, welcher auf einem senkrecht stehenden, zugespitzten Stifte so gestellt oder auch auf einem Seidenfaden so aufgehangen ist, daß er sich leicht horizontal bewegen kann. Sie ist gewöhnlich 3—6 Zoll lang und hat die Gestalt eines Pfeiles oder zweier langgestreckter gleichschenkliger Dreiecke, welche mit der kürzeren dritten Seite an einander liegen, und so eine langgestreckte Raute bilden. In der Mitte befindet sich ein Hütchen aus Messing oder Achat, in welches der Stift kommt; bei jener ist die Spitze, bei dieser das gewöhnlich blau angelaufene Ende der Nordpol. Durch die bestimmte Lage, welche die Magnetnadel im Weltraume annimmt, ist sie ein unentbehrliches Instrument für den Schiffer, Bergmann, Meßkünstler und Physiker geworden. Sie dient vorzugsweise zum Orientiren, d. h. zur Bestimmung der Weltgegenden.

Kompaß — Boussole. — August's portative magnetische Sonnenuhr. Daß die Anziehung zwischen einem Magneten und Eisen wechselseitig ist, beweist auch die Magnetnadel, da sie durch genähertes Eisen angezogen wird; freilich kann hier die Anziehung nur dadurch wechselseitig sein, daß das Eisen bei der Annäherung an die Magnetnadel nach dem Gesetze der Vertheilung magnetisch und dann das Gesetz der Anziehung wirksam wird. Die Mineralogen benutzen die Magnetnadel, um zu finden, ob ein Mineral magnetische Anziehung besitzt oder nicht. In Bergwerken, die Eisenerze enthalten, kann der Bergmann den Markscheider-Kompaß, in 24 Stunden eingetheilt, zum Orientiren nicht gebrauchen, da die Nadel durch jene aus ihrer natürlichen Lage abgelenkt wird.

2) Wird eine Magnetnadel in eine andere, ihr nicht eigenthümliche Lage, z. B. in die von Osten nach Westen gebracht und dann sich überlassen, so kehrt sie in die ihr zukommende Gleichgewichtslage von selbst zurück, die sie aber nur nach und nach annimmt, indem sie Schwingungen (Oszillationen) macht, welche aber wegen der Reibung und des Widerstandes der Luft immer kleiner werden und zuletzt aufhören. Die Richtung der ruhenden Magnetnadel heißt die magnetische Nordlinie, zum Unterschiede von der astronomischen oder wahren Nordlinie, welche die den Nordpunkt und Südpunkt des Horizontes verbindende gerade Linie ist. Eine durch die Richtung der ruhenden Magnetnadel oder durch die magnetische Nordlinie senkrecht auf den Horizont gelegte Ebene heißt der magnetische Meridian, so wie die auf gleiche Art durch die astronomische Nordlinie gelegte Ebene der astronomische oder wahre Meridian. Nach geometrischen Gründen kann die Durchschnittslinie einer jeden Horizontalebene mit dem magnetischen Meridiane als die magnetische Nordlinie, so wie die Durchschnittslinie einer jeden Horizontalebene mit dem astronomischen Meridiane als die astronomische Nordlinie betrachtet werden.

Nur an wenigen Stellen der Erde zeigt der Nordpol der Magnet-

nadel genau nach dem wahren Norden, an den meisten nach Punkten, die östlich oder westlich davon liegen; nur an wenigen Orten fallen daher der magnetische und astronomische Meridian zusammen, an den meisten weichen sie mehr oder weniger von einander ab. Diese Abweichung oder Deklination wird gemessen durch den Bogen des Horizontes zwischen den beiden Meridianen, oder durch den Winkel, welchen die beiden Nordlinien auf derselben Horizontalebene bilden. Sie heißen Deklinationsbogen und Deklinationswinkel, und die Deklinationen selbst, indem man sie immer auf das Nordende der Magnetnadel bezieht, östlich oder westlich, je nachdem der Nordpol nach Osten oder Westen vom astronomischen Norden zeigt. Eine Magnetnadel, die man vorzugsweise zur Messung der Deklination braucht, ist länger als die gewöhnlichen, 6 bis 12″, und heißt eine Deklinationsnadel, so wie das ganze Instrument ein Deklinatorium.

Wie kann man mittelst einer astronomischen Mittagslinie und einer Deklinationsnadel die Deklination bestimmen? Wie lange die Abweichung der Magnetnadel bekannt ist, ist unbestimmt; Spuren davon fallen bis in 13te Jahrhundert. — So wie aus den Oszillationen des Pendels die Intensität der Schwerkraft (§ 99) g, läßt sich aus denen der Magnetnadel die Intensität des Magnetismus bestimmen (§ 199, 2).

Es giebt auf der Erde eine sehr unregelmäßig laufende Linie von der Eigenschaft, daß in allen ihren Punkten die Magnetnadel genau nach Norden zeigt, der magnetische Meridian mit dem astronomischen also zusammenfällt oder die Deklination Null ist. Sie heißt die Linie ohne oder keiner Abweichung (agonische Linien); der eine Theil dieser Linie (die asiatische) ging nach Erman 1829 in mancherlei Krümmungen vom weißen Meere in der Nähe von Nischnei-Nowgorod und Astrachan vorüber, dann durch den großen Ozean und Neuholland gegen den Südpol der Erde hin, jetzt durch das Uralgebirge, das kaspische Meer, den persischen Meerbusen nach Neuholland; der andere Theil (die amerikanische), vom Südpole aus dem atlantischen Ozean kommend, tritt nördlich von Rio-Janeiro in Amerika ein, durchschneidet es, nördlich fortgehend, und verliert sich nördlich von der Hudsonsbai. Zwischen den Linien ohne Abweichung befinden sich die Linien der gleichen Abweichung oder die isogonischen Linien, so wie die der zunehmenden und größten östlichen und westlichen Abweichung.

Europa, Afrika und von Amerika und Asien diejenigen Theile mit den dazwischen liegenden Meeren, welche sich zwischen diesen beiden Linien befinden, haben westliche, alle übrigen Theile der Erde, also z. B. die Westküste Amerika's und fast ganz Asien dagegen östliche Abweichung, wobei jedoch die merkwürdige Ausnahme stattfindet, daß sich in dem östlichen Asien und den angrenzenden Meeren noch eine dritte Linie ohne Abweichung vorfindet, die jedoch in sich zurückläuft oder geschlossen ist, so daß die Orte innerhalb derselben westliche, die Orte außerhalb derselben dagegen östliche Deklination wie das übrige fast ganze östliche Asien haben. Es giebt Deklinationskarten von Hallei seit 1683; die vollständigsten von Hansteen seit 1819, Barlow, Erman d. J.; sie

enthalten die Erdpunkte gleicher magnetischer Abweichung durch Linien verbunden, d. i. die isogonischen Linien oder die Isogonen.

Die Deklination eines und desselben Ortes bleibt nicht immer dieselbe, sondern ändert sich langsam. Sie nimmt zu, erreicht ihr Maximum, nimmt ab, wird Null, geht in die entgegengesetzte über, erreicht auch hier ihr Maximum ꝛc., eine Oszillation, zu deren Zurücklegung die Magnetnadel Jahrhunderte braucht. (Säkular-Variation der Magnetnadel.)

Die Abweichung der Magnetnadel war in Deutschland vor 1666 östlich, jetzt ist sie ungefähr 17° westlich (Berlin 16° 56′), und zwar seit 1819 im Abnehmen (Berlin jetzt jährlich 3,8′) begriffen. Das Pfeilbild in den Kompassen giebt den magnetischen Meridian an; die Kompasse müssen mit der Zeit unrichtig werden. Wie bestimmt man durch einen Kompaß die Weltgegenden? — Gauß' Magnetometer.

Außer dieser Säkular-Variation in der Deklination eines Ortes giebt es auch noch stündliche, tägliche und jährliche Variationen. Die tägliche Aenderung ist von der Art, daß die Deklinationsnadel in Europa sich Vormittags etwas westlich bewegt, Nachmittags aber langsam wieder östlich zurückkehrt, so daß ihre westliche Ablenkung Nachmittags 5 Uhr am größten, Abends 8—10 Uhr am kleinsten ist; während der Nacht bleibt die Nadel fast stationär; im Sommer macht sie bedeutend größere Oszillationen (im August 30′), als im Winter (im Dezember 5′). Hinsichtlich der jährlichen Aenderung ist zu bemerken, daß in Europa die westliche Abweichung im Sommer kleiner als im Winter ist. Die geringste Abweichung findet um das Sommersolstitium statt, von hier an bis in den Januar und Februar wächst sie, und von da an bis in den Juni nimmt sie wieder ab. Endlich beobachtet man plötzliche Aenderungen in der magnetischen Deklination, eine Unruhe der Magnetnadel während Gewitterstürmen, während des Nordlichtes, der Erdbeben und der Ausbrüche von Vulkanen, ja sogar schon vor solchen Eruptionen; man nennt sie Störungen oder Perturbationen der Magnetnadel.

Einfluß der Wärme, Kälte und Feuchtigkeit auf die Magnetnadel.

3) Wird eine im Schwerpunkte unterstützte unmagnetische Stahlnadel abgenommen, magnetisirt und wieder auf den Stift gelegt, so liegt sie an den meisten Orten nicht mehr horizontal, sondern neigt bei uns in der Nordhälfte der Erde den Nordpol, in der Südhälfte dagegen den Südpol herunter. Diese Abweichung der Magnetnadel von der horizontalen Lage heißt die magnetische Neigung oder Inklination; sie wird durch den Winkel gemessen, welchen die Richtung der geneigten Nadel mit dem Horizonte bildet. Er heißt der Inklinationswinkel, und die hierbei gebrauchte Nadel, von der Größe der Deklinationsnadel, nur nicht wie diese, auf einem senkrechten Stifte aufgestellt, in horizontaler Ebene, sondern um eine horizontale Achse in senkrechter Ebene schwingend, heißt Inklinationsnadel, so wie das ganze Instrument ein Inklinatorium.

Die Deklinationsnadel muß genau horizontal schwingen. Das erreicht man dadurch, daß die in die Höhe steigende Hälfte angemessen schwerer gemacht, oder mit einem Laufgewichte versehen, oder, wie es die Schiffer thun, mit Wachskügelchen beschwert wird.

Es giebt um die Erde eine Linie ohne Neigung (aklinische Linie), d. i. eine solche Linie, auf welcher die Inklinationsnadel überall horizontal liegt, die Inklination also Null ist. Diese Linie, der magnetische Aequator genannt, ist mannichfach gekrümmt; sie schneidet den Erdäquator in zwei veränderlichen Punkten, die, von Osten nach Westen fortrückend, sich jetzt fast an der westlichen afrikanischen Küste bei St. Thomas (28° östlicher Länge) und im Südmeere östlich von Neu-Guinea (170° östlicher Länge von Ferro) befinden, und sie entfernt sich in der nördlichen Hälfte bei etwa 60° Länge, zwischen Afrika und der indischen Halbinsel bis auf 15°, in der südlichen Hälfte dagegen in der Nähe der Küste von Brasilien bei 340° Länge bis auf 12° vom Erdäquator. Mit der Entfernung von diesem magnetischen Aequator nimmt die Inklination zu, d. h. je weiter man sich nach Norden oder Süden begiebt, desto mehr nähert sich die schiefe Lage der Nadel der senkrechten und zwar in der Nordhälfte mit dem Nordpole, in der Südhälfte mit dem Südpole nach unten. Wenn nun die Orte mit gleicher magnetischer Neigung verbunden gedacht werden, so erhält man die Linien gleicher Neigung oder die isoklinischen Linien, so wie die der zu- und abnehmenden Neigung. So mannichfaltig sich auch diese Linien krümmen, so schneiden sie sich doch nie, verhalten sich aber zum magnetischen Aequator nicht etwa so, wie die Parallelkreise zum Erdäquator, denn z. B. die isoklinische Linie von 80° Neigung geht durch Spitzbergen, also 80° nördlicher Breite, aber auch durch den südlichen Theil der Hudsonsbai im nördlichen Amerika, etwa 54° nördlicher Breite. Je weiter man nach Norden und Süden kommt, desto mehr ziehen sich die isoklinischen Linien in Ovale um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt zusammen. Die Punkte der Erde, über welchen die Inklinationsnadel völlig senkrecht steht, also die Inklination 90° betragen würde, heißen die magnetischen Pole der Erde. Man nahm früher an, daß sie deren viere, zwei Nordpole und zwei Südpole habe; doch hat Gauß in neuerer Zeit dargethan, daß sie nur einen Nordpol und einen Südpol haben könne, wofür auch die bisherige Erfahrung spricht. Der magnetische Nordpol, welcher in Nordamerika liegt, läßt sich als genau bestimmt betrachten, da ihm der Kapitän Roß auf seiner zweiten Polarreise im März 1833 auf Boothia Felix so nahe kam, daß seine Inklinationsnadel unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlicher Länge von Greenwich (280° 53′ 57″ von F.) konstant auf 89° 59′ stand, so daß zum völlig senkrechten Stande nur noch Eine Minute fehlte. Auch dem magnetischen Südpole ist man in neuester Zeit sehr nahe gekommen, denn Roß hat mit dem Kommandanten Crocier den 15. Febr. 1841 bei 72° 35′ südlicher Breite und etwa

152° 30′ östlicher Länge von Greenwich (170° 9′ 57″ von F.) eine Inklination 88° 40′ beobachtet, woraus sie auf eine Entfernung von nur noch 157 engl. Meilen vom magnetischen Südpole schlossen. Die beiden magnetischen Pole liegen also nicht wie die Erdpole einander diametral gegenüber; sie liegen nicht 180°, sondern nur etwa 160° von einander entfernt. Auch die Inklination eines und desselben Ortes ändert sich, doch weniger bedeutend und langsamer, als die Deklination.

Bei uns ist die Inklination etwa 60°; in Berlin, wo sie auch diese Größe hat, nimmt sie jährlich um 3,5″ ab. Aus der Größe der Inklination läßt sich auf die geographische Breite schließen. Inklinationskarten haben Wilke, Hansteen und Erman geliefert; sie enthalten die Erdpunkte gleicher magnetischer Neigung durch Linien verbunden, d. i. die isoklinischen Linien oder die Isoklinen. — Als Kapitän Roß den magnetischen Nordpol umfuhr, richtete die Magnetnadel an jeder Stelle ihr Nordende dem Pole zu, so daß sie also bei der ganzen Umfahrt auch einen ganzen Umlauf machte, indem sie gleichsam nördlich vom Nordpol nach Süden, östlich nach Westen, südlich nach Norden und westlich nach Osten hinwies; die Magnetnadel erhielt ihre Richtkraft oder die Eigenschaft, ihre bestimmte Lage anzunehmen, erst wieder bei einer Entfernung von mehreren Meilen vom magnetischen Nordpole.

4) Die Ablenkung (Abirrung, Deviation, Aberration) der Magnetnadel muß nicht verwechselt werden mit der erklärten Abweichung oder Deklination derselben. Unter Ablenkung der Magnetnadel versteht man die Entfernung derselben vom magnetischen Meridiane durch örtliche Anziehung von Eisen und eisenhaltigen Körpern, z. B. durch vorgehaltenes Eisen, durch Eisenerze in Bergwerken, durch die eisenhaltigen Felsenmassen im Meere, durch eisenhaltige Gebirge u. s. w. Vorzüglich wichtig ist die Kenntniß und Schätzung dieser Ablenkung beim Steuerkompaß durch das auf dem Schiffe sich befindende Eisen, wie Anker und Kanonen, weil die Unkenntniß derselben zu falschen magnetischen Abweichungsbestimmungen und dadurch zu falschen geographischen Ortsbestimmungen führt, wenn letztere nicht auf astronomischem Wege geschehen. Die Störungen des Schiffseisens auf den Kompaß sucht man jetzt aufzuheben, oder wie man sagt, seine Wirkung zu neutralisiren, durch Anwendung eines Stückes Eisen, gewöhnlich einer kreisrunden Scheibe, welche so gestellt wird, daß sie durch ihre Anziehung der durch das Schiffseisen hervorgebrachten Anziehung entgegenwirkt und sie aufhebt.

199. 1) Auf die Erscheinungen der Deklinations- und Inklinationsnadel und darauf, daß Eisenstäbe schon durch eine bestimmte Lage Magnetismus annehmen, gründet sich die Behauptung: daß die Erde selbst ein Magnet sei und als solcher wirke, und daß es also einen Erdmagnetismus gäbe. Sowohl die Erscheinung, daß sich Eisenfeilspäne an einen Magnetstab so anlegen, daß sie über den Polen senkrecht stehen, nach der Mitte zu sich neigen und da horizontal liegen, als auch die Erscheinung, daß eine über einem Magnetstabe freischwebende Magnetnadel mit ihm parallel liegt, oder sich zu ihm

neigt, oder sich gar senkrecht auf ihn stellt, je nachdem sie über dem Indifferenzpunkt, oder über Stellen zwischen diesem und den Polen, oder endlich über den Polen selbst gehalten wird, stimmen ganz überein mit den Erscheinungen an der Inklinationsnadel auf dem magnetischen Aequator, an Orten zwischen diesem und den magnetischen Erdpolen und auf den letzteren selbst. Daß also Eisen durch eine bestimmte Lage und in der angegebenen Art Magnetismus annimmt, kommt daher, daß die Erde als Magnet durch Vertheilung auf dasselbe wirkt; es hat daher diese Erscheinung beweisende Kraft für den Erdmagnetismus.

Barlow's Terrellen. — Wie entsteht der Erdmagnetismus? — Da wir den nach Norden zeigenden Pol eines Magneten den Nordpol und den andern also den Südpol nennen, so müssen wir der Nordhälfte der Erde Südmagnetismus, und der Südhälfte Nordmagnetismus zuschreiben; die Engländer und Franzosen aber nennen den Magnetismus der Nordhälfte der Erde Nordmagnetismus und den der Südhälfte Südmagnetismus, daher heißt bei ihnen unser Nordpol der Magnetnadel der südliche, und unser Südpol der nördliche Pol.

2) Wie die Deklination und Inklination an verschiedenen Orten verschieden groß sind, so gilt das auch von der Stärke oder der Intensität der magnetischen Kraft der Erde. Sie nimmt im Allgemeinen mit der Inklination zu, ohne daß jedoch die Orte gleicher Inklination auch Orte gleicher Intensität sind. Auch hier zeigt sich der Zusammenhang der Wärme mit dem Magnetismus, da die Intensität nach den kälteren Gegenden zunimmt, und da das Minimum der Intensität in Südafrika, wo das Maximum der Erdwärme stattfindet, beobachtet worden ist. Bestimmt wird die Intensität aus der Geschwindigkeit, mit welcher Magnetnadeln schwingen, und zwar verhalten sich nach den Pendelgesetzen die magnetischen Kräfte zu einander, wie die Quadrate der Schwingungszahlen in gleichen Zeiten, wobei jedoch der Einfluß der Wärme, die Nähe von Eisenmassen und manche Veränderungen, welche die Nadel im Laufe der Zeit erleidet, die Resultate unsicher machen. Die Verbindung der Orte gleicher magnetischer Intensität führt auf die sogenannten isodynamischen Linien, oder die Isodynamen. Auch die Intensität scheint in Abnahme zu sein.

Das Magnetometer von Gauß. — Der von A. v. Humboldt gestiftete magnetische Verein hat zum Zweck die Erforschung des Erdmagnetismus, wie er sich kundgiebt durch die magnetische Deklination, Inklination und Intensität, welche sich gleichzeitig auf große Strecken, wenn auch in verschiedenen Graden, ändern. Zu den regelmäßigen magnetischen Veränderungen gehören die säkularen und periodischen, zu den unregelmäßigen die plötzlichen Störungen oder Perturbationen.

Das ganze System der magnetischen Linien hat keine feste, unveränderliche Lage, wie schon aus den Veränderungen der Deklination, Inklination und Intensität hervorgeht. Der magnetische Nordpol scheint sich nach Osten, der Südpol nach Westen zu bewegen, und die Durchschnittpunkte des magnetischen Aequators mit dem geographischen rücken von Osten nach Westen hin, denn im Jahre 1780 betrug die Länge der beiden Knotenpunkte 17° und 180°, in dem

Jahre 1822 die des ersten 3° 45′, im Jahre 1825 die des zweiten 170° 58′.

200. 1) So wie die ruhende Deklinationsnadel den magnetischen Meridian als diejenige Ebene angiebt, in welcher die magnetische Kraft der Erde wirkt, so giebt die Richtung der Inklinationsnadel auch die Richtung an, in welcher die magnetische Kraft in der magnetischen Meridianebene ihre Wirkung ausübt. Diese Kraft kann durch das Parallelogramm der Kräfte in eine senkrechte und eine horizontal wirkende Seitenkraft, welche die Oszillation der Deklinationsnadel bewirkt, zerlegt gedacht werden; jene bleibt ungeändert dieselbe, in welcher Ebene auch immer die Nadel schwingt, diese aber ist am größten, wenn sie im magnetischen Meridiane schwingt, also die Schwingungsebene mit dem Meridiane zusammenfällt, und ist Null, wenn sich die Achse im Meridiane befindet, die Schwingungsebene also auf dem Meridiane senkrecht steht. Die horizontale Kraft zieht die Inklinationsnadel von der senkrechten Lage ab; wo sie also gleich Null ist, muß die Nadel senkrecht stehen, daher beträgt ihre Neigung im magnetischen Meridiane etwa 68° und nimmt immer zu, indem die Schwingungsebene vom magnetischen Nordsüd nach und nach in das magnetische Ostwest übergeht, und wird 90°, d. i. die Nadel steht senkrecht, wenn die Schwingungsebene wirklich jene Lage erreicht; bei einer ganzen Umdrehung nimmt daher der Inklinationswinkel zuerst von 68°—90° zu, dann ab von 90° — 68°, dann wieder zu von 68° — 90° und endlich abermals ab von 90°—68°. Um also die Inklination in ihrer wirklichen Größe sichtbar zu machen, ist es durchaus nöthig, die Inklinationsnadel so zu stellen, daß ihre Schwingungsebene in den magnetischen Meridian fällt.

2) Eine astatische Nadel ist eine solche Magnetnadel, auf welche die magnetische Richtungskraft der Erde gar nicht oder nur sehr schwach wirkt, weshalb sie in dem einen Falle kein Bestreben zeigt, eine bestimmte Richtung anzunehmen und mithin in jeder Lage ruhen kann, während sie in dem andern Falle schon durch geringe magnetische Kräfte aus der angenommenen Richtung gebracht werden kann. Eine Magnetnadel wird schon durch die Art der Aufstellung astatisch, wenn sie nämlich so aufgestellt wird, daß die sie tragende Achse die Richtung der Inklinationsnadel, also auch die Richtung der magnetischen Kraft der Erde angiebt, die Nadel sich mithin nur in der auf einer Inklinationsnadel senkrechten Ebene bewegen kann. Man nennt aber eine Nadel auch dann astatisch, wenn sie, auf gewöhnliche Weise aufgestellt, in jeder Lage, nicht blos im magnetischen Meridiane, zur Ruhe kommen kann, was man durch eine Doppelnadel erreicht, wenn man nämlich zwei gleich starke Magnetnadeln so mit einander verbindet, daß sie in einiger Entfernung zu einander parallel und mit den ungleichnamigen Polen nach derselben Seite hin liegen. Sind die beiden Magnetnadeln nur fast gleich stark, so stellt sich zwar die

Doppelnadel, so wie es die stärkere der beiden Magnetnadeln fordert, in den magnetischen Meridian, kann aber durch die schwächste magnetische Einwirkung daraus gebracht werden. Hierauf gründet sich der Gebrauch dieser Nadeln zur Entdeckung geringer Grade von Magnetismus.

Zehnter Abschnitt.

Von der Elektrizität.

201. 1) Ein Körper ist elektrisch oder zeigt elektrische Erscheinungen, wenn er leichte Körperchen zuerst anzieht und darauf nach erfolgter Berührung zurückstößt, im Finstern leuchtet; wenn ihm der Finger genähert wird, einen Funken von sich giebt, der einen Stich verursacht und von einem Knistern begleitet ist; ferner, wenn er stark elektrisch ist, einen phosphorartigen Geruch verbreitet, und die Eigenthümlichkeit hat, daß man in ein Spinngewebe zu greifen glaubt, wenn man ihm die Hand nahe bringt.

Elektrizität bezeichnet theils den Inbegriff aller elektrischen Erscheinungen, theils den Zustand eines Körpers, in welchem er elektrische Erscheinungen zeigt, theils endlich die Ursache der elektrischen Erscheinungen. — Elektrische Materie.

Elektrizität von ἤλεκτρον, Bernstein, an welchem man zuerst die angeführten Erscheinungen bemerkte, die schon zur Zeit des griechischen Philosophen Thales von Milet, 600 v. Chr., gekannt waren.

2) Die Elektrizität eines Körpers ist entweder ursprünglich oder mitgetheilt, je nachdem sie in ihm unmittelbar oder mittelbar erregt worden ist. Jenes geschieht durch Reibung oder Berührung zweier Körper, die beide noch keine Elektrizität haben; durch Erwärmung oder Aenderung des Aggregatszustandes; durch Magnetismus, durch chemische oder organische Prozesse u. s. w.; dieses dadurch, daß ein Körper die Elektrizität von einem andern schon elektrischen Körper, indem er ihm sehr nahe kommt oder ihn gar berührt, erhält.

Eine Siegellackstange, mit einem Stücke Tuch gerieben, wird elektrisch; eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, mit gläsernen Handhaben versehen, zeigen nach der Berührung Elektrizität. Der Turmalin und Topas werden durch heiße Asche, der Stangenschwefel durch die bloße Handwärme, seidene Kleider durch die Körperwärme, Siegellack und Chokolade durch Schmelzen elektrisch. Eine Metallplatte auf einer gläsernen Handhabe wird durch Berührung mittelst einer geriebenen Siegellackstange elektrisch. Elektrische Fische, z. B. der Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels.

202. 1) Die Körper werden, in Bezug auf die Elektrizität, in Leiter und Nichtleiter eingetheilt. Der Unterschied dieser zwei

Klassen von Körpern ist folgender: 1) In den Nichtleitern wird unter jeder Bedingung, auch wenn wir sie in der bloßen Hand halten, durch Reibung Elektrizität erregt, in den Leitern dagegen, wenn wir sie in der bloßen Hand halten, gar nicht, wohl aber, wenn wir sie mittelst an ihnen befestigter Griffe aus Glas oder Harz oder mit in Seidenzeug umwundenen Händen halten; daher heißen auch jene vorzugsweise elektrische (idioelektrische), diese unelektrische (anelektrische) Körper. 2) Wird einem Nichtleiter an einer Stelle Elektrizität mitgetheilt, so hält diese Stelle die Elektrizität fest, theilt sie den benachbarten nicht mit, und verhindert so ihre Fortleitung; wird dagegen einer Stelle eines Leiters Elektrizität mitgetheilt, so verbreitet sie sich auch augenblicklich über seine ganze Oberfläche. 3) Berührt man endlich einen elektrischen Nichtleiter mittelst eines Leiters, so nimmt man dadurch nur der berührten Stelle die Elektrizität, die benachbarten dagegen bleiben noch elektrisch; ein elektrisirter Leiter aber auf diese Art berührt, verliert die Elektrizität auf seiner ganzen Oberfläche. Die Nichtleiter können also am besten durch Reibung, die Leiter dagegen durch Mittheilung elektrisirt werden.

Die besten Leiter sind: Metalle, Erze, Graphit, Kohle, Wasser, die flüssigen Säuren; weniger gute sind Dünste und alle wasserhaltigen Körper, daher auch die feuchte Luft, die Pflanzen und Thierkörper; die besten Nichtleiter: trockenes Glas, Harz, Gutta-Percha, Schwefel, Siegellack, Bernstein, Chokolade, Zucker, Seide, Haare, trockene, nicht verdünnte Luft; die Luft kann also, je nachdem sie trocken oder feucht ist, ursprüngliche oder mitgetheilte Elektrizität besitzen; in feuchter Luft mißlingen daher elektrische Experimente, Luftelektrizität. — Halbleiter sind: Papier, Elfenbein, Thon, Kreide, Marmor und andere Steinarten. — Die Metalle sind auch die besten Wärme-Leiter.

2) Da es die Eigenschaft eines Leiters ist, dargebotene Elektrizität schnell auf seiner ganzen Oberfläche anzunehmen, sie aber eben so schnell einem andern genäherten Leiter abzugeben; die des Nichtleiters aber, die Elektrizität nur an der Berührungsstelle anzunehmen und nicht weiter zu führen, so wird ein Leiter mitgetheilte Elektrizität nur dann längere Zeit behalten können, wenn er mit einem Nichtleiter in Verbindung ist. Einen Leiter nur mit Nichtleitern in Berührung bringen, heißt: ihn isoliren, weshalb man die Nichtleiter in dieser Beziehung auch Isolatoren nennt. Die gewöhnlichste Art, einen Leiter zu isoliren, besteht darin, daß man ihn auf eine Glas- oder Harzunterlage legt, oder auf seidene Fäden und Schnüre aufhängt, oder, wenn er ein flüssiger ist, ihn in eine gläserne Flasche einschließt.

Isolirstuhl. — In jedem Körper wird durch Reibung Elektrizität hervorgebracht, nur halten sie die Nichtleiter ihrer Natur nach zurück; während die Leiter, wenn sie nicht isolirt sind, sie gleich abgeben. Eine in der bloßen Hand gehaltene Metallstange wird daher durch Reibung nicht elektrisch, obgleich es doch unter denselben Bedingungen eine Glas- oder Siegellackstange wird.

Die vier Hauptarten, Elektrizität zu erregen, sind die Reibung, Friktion; die Berührung, Kontakt; die Induktion, d. i. die Einwirkung der Elektrizität selbst, insbesondere aber des Magne-

tismus unter gewissen Bedingungen; und die Wärme. Die aus diesen Quellen hervorgehende Elektrizität heißt in derselben Ordnung:

Friktionselektrizität, Reibungselektrizität, auch Maschinenelektrizität.

Kontaktelektrizität, Berührungselektrizität, Galvanismus, Voltaismus, Galvano-Voltaismus, auch Hydroelektrizität.

Induktioselektrizität, insbesondere Magnetoelektrizität.

Thermoelektrizität, Wärmeelektrizität.

Diese Elektrizitäten aus verschiedenen Quellen haben gleiche Natur; Abweichungen in den Erscheinungen werden nach Faraday nur dadurch hervorgebracht, daß die Elektrizitäten verschiedenen Ursprungs in Quantität und Intensität mit einander nicht übereinstimmen. Die eine Quelle giebt viele Elektrizität von geringer, eine andere aber wenige Elektrizität von großer Intensität.

I. Friktionselektrizität.

1. Von der elektrischen Anziehung, Abstoßung, Vertheilung oder Influenz und Mittheilung.

203. 1) Es ist nicht schwer, in dem Verhalten elektrischer Körper gegen einander einen Gegensatz zu bemerken, der die Physiker veranläßt, zwei entgegengesetzte Elektrizitäten anzunehmen, wie sie auch zwei entgegengesetzte Magnetismen annehmen. Die Haupterscheinungen, welche den Gegensatz begründen, sind folgende: 1) eine mittelst eines Wollenzeuges geriebene Siegellackstange zieht ein auf einem seidenen Faden hängendes Korkkügelchen — isolirtes Pendel — an, stößt es nach stattgefundener Berührung sogleich ab und zieht es nicht eher wieder an, bis ihm die Elektrizität durch einen andern Leiter, z. B. durch Berührung mit der Hand, genommen ist. Genau dasselbe sieht man, wenn man sich zu diesem Versuche einer auf dieselbe Art geriebenen Glasröhre bedient. Nähert man aber ein solches von der Siegellackstange angezogenes und darauf abgestoßenes Korkkügelchen der geriebenen Glasröhre, so wird es von dieser sofort angezogen; auf gleiche Art wird ein von der Glasröhre abgestoßenes Korkkügelchen von der Siegellackstange angezogen. 2) Zwei Korkkügelchen, beide an der Glasröhre, oder beide an der Siegellackstange elektrisirt, stoßen einander ab; ziehen sich aber an, wenn das eine von der Glasröhre, das andere von der Siegellackstange seine Elektrizität erhalten hat, und zeigen nach geschehener Berührung, wenn sie gleich stark elektrisirt waren, keine Spur von Elektrizität.

2) Diese zwei Elektrizitäten, von denen jede sich selbst flieht, die andere aber anzieht, nannte man sonst allgemein Glas- und Harz-elektrizität, weil man der irrigen Meinung war, es sei die eine Elektrizität immer an das Glas und die andere auf gleiche Art immer an das Harz gebunden, und jeder andere Körper könne nur immer unverändert eine von beiden annehmen. Später aber fand man, daß nicht blos der geriebene, sondern auch der reibende Körper die Elektrizität bestimme, und daß insbesondere sowohl Glas als Harz beide Elektrizitäten nach Beschaffenheit des Reibzeuges annehmen können; man führte daher, da sich die entgegengesetzten Elektrizitäten, wenn sie gleich stark sind, wie gleiche entgegengesetzte Größen in der Mathematik aufheben, die Benennungen positive und negative Elektrizität ein (+ E und — E), indem man die in dem mit Wolle geriebenen Glase entstehende Elektrizität positiv, die in dem ebenfalls mit Wolle geriebenen Siegellacke entstehende dagegen negativ nannte. Ein Körper ist also hiernach dann positiv elektrisch, wenn er solche Elektrizität zeigt, wie das mit Wolle geriebene Glas, negativ elektrisch aber, wenn er solche Elektrizität, wie das mit Wolle geriebene Siegellack besitzt.

Glas mit Katzenfell gerieben, giebt — E, so wie Harz mit einem Amalgame gerieben, + E. — System der Unitarier (Aepinus und Franklin), System der Dualisten (du Fay, Symmer, Koulomb).

204. So wie in der Lehre vom Magnetismus giebt es auch hier drei Hauptgesetze, und zwar, wie dort: das Gesetz der Anziehung, das Gesetz der Abstoßung und das Gesetz der Vertheilung oder der Influenz. Die beiden ersten, welche die Experimente mit den Korkkügelchen in § 203 unmittelbar ergeben, lauten: Ungleichnamige Elektrizitäten ziehen einander an, gleichnamige dagegen stoßen einander ab, oder:

als Gesetz der Anziehung: + E und — E
oder: — E und + E } ziehen sich an,

als Gesetz der Abstoßung: + E und + E
ebenso: — E und — E } stoßen sich ab.

Wie prüfet man mittelst Korkkügelchen, ob ein elektrischer Körper + oder — E hat?

Die Stärke der elektrischen Anziehung und Abstoßung nimmt nach Koulomb's Versuchen mittelst der von ihm erfundenen Drehwaage (Gehler II, Figur 181) mit der Entfernung ab, und zwar wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen. (§ 195.)

205. Die Elektrizität, welche in einem Körper durch einen anderen bereits elektrischen Körper hervorgebracht wird, ist durch Mittheilung entstanden, wenn eine förmliche Berührung oder wenigstens eine so große Annäherung stattgefunden hat, daß ein Funken aus dem elektrischen in den bis dahin unelektrischen übersprang, oder

durch Vertheilung, wenn er schon in größerer Entfernung Elektrizität zeigt.

1) Die Entfernung, in welcher ein elektrischer Körper auf andere Körper Elektrizität hervorrufend einwirkt, heißt sein Wirkungskreis, auch seine elektrische Atmosphäre, und das Gesetz der Vertheilung oder Influenz lautet: Jede Elektrizität erzeugt in ihrem Wirkungskreise in dem zugewendeten Theile eines genäherten Körpers die entgegengesetzte, in dem entfernteren Theile dagegen die gleichnamige Elektrizität, oder:

$+$ E erzeugt in ihrem Wirkungskreise $-$ E und $+$ E,
$-$ E erzeugt in ihrem Wirkungskreise $+$ E und $-$ E,

welche Bezeichnung wie die ähnliche in § 196 zu verstehen ist.

Wir denken uns auch hier, auf Grund der folgenden Versuche, daß in jedem Körper beide Elektrizitäten enthalten sind, aber in einem gebundenen Zustande, welcher sie nach außen zu wirken verhindert, und daß die Einwirkung des elektrischen Körpers auf ihn nur darin besteht, daß er die wechselseitige Bindung der Elektrizitäten aufhebt, sie frei macht und nach dem Gesetze der Anziehung und Abstoßung die entgegengesetzte an sich zieht, die gleichnamige aber von sich entfernt. Diese durch Vertheilung in einem Körper entstandene Elektrizität ist aber nur vorübergehend, da sie verschwindet, sobald er aus dem Wirkungskreise des elektrischen Körpers gezogen wird; doch kommen bei dieser Erscheinung manche Abänderungen vor, je nachdem der genäherte Körper ein isolirter oder nicht isolirter Leiter, oder ein Nichtleiter ist, ohne daß das Gesetz selbst dadurch eine Aenderung erleidet. Der Engländer Canton 1753, der Schwede Wilke 1757, Aepinus in Berlin 1759.

a. Nähert man einem elektrischen Körper einen isolirten Leiter, z. B. dem Konduktor einer Elektrisirmaschine einen auf Glasfüßen stehenden Metallzylinder, oder auch nur einer geriebenen Siegellackstange einen isolirten Draht, so gehen mittelst leinener Fäden an den Enden des Leiters paarweise angehängte Korkkügelchen auseinander, nicht aber, wenn sie sich in der Mitte befinden, und Korkkugelpaare zwischen diesen drei Hauptstellen divergiren weniger als an den Enden; die Prüfung der Elektrizität der Korkkügelchen mittelst einer mit Wolle geriebenen Siegellack- oder auch Glasstange zeigt, daß der isolirte Leiter, wenn der Konduktor positiv-elektrisch ist, an dem genäherten Ende negative, an dem entfernteren dagegen positive Elektrizität besitzt; so wie, wenn er negativ elektrisch ist, dort positive und hier negative; auch schließen wir aus der Divergenz der Korkkugelpaare, daß beide Elektrizitäten von den Enden nach der Mitte des Zylinders oder des Drahtes abnehmen. Wird nun der Leiter aus dem Wirkungskreise des elektrischen Körpers gebracht, indem einer von beiden entfernt wird, so verliert er alle Elektrizität; denn die Korkkügelchen

fallen zusammen. Wird aber der Leiter, während er im Wirkungskreise steht, an dem abgekehrten Ende mit der Hand berührt, so fallen zwar die Korkkügelchen dieses Endes zusammen, gehen aber sogleich wieder auseinander, wenn man den Leiter aus dem Wirkungskreise herauszieht, und die Untersuchung der Elektrizität des nun außerhalb des Wirkungskreises sich befindenden Leiters ergiebt, daß er auf seiner ganzen Oberfläche die entgegengesetzte Elektrizität von der des auf ihn einwirkenden elektrischen Körpers hat: hier also im ersten Falle negative, im zweiten positive. Diese Erscheinungen geben den Beweis für das vorhin über die Vertheilung Gesagte; der elektrische Körper trennte die gebundenen Elektrizitäten des genäherten Körpers, indem er die ungleichartige in den ihm zunächst liegenden Theil desselben heranzog, die gleichartige aber in den entfernteren Theil zurückstieß, so daß in der Mitte eine elektrische Indifferenzstelle entstand. Wird der Leiter aus dem Wirkungskreise des Konduktors gezogen, so hört die Vertheilung auf und die beiden Elektrizitäten desselben binden einander wieder, weshalb die Korkkügelchen sofort zu divergiren aufhören. Wird aber der Leiter an dem entfernteren Ende, so lange er sich noch in dem Wirkungskreise befindet, ableitend berührt, so bleibt doch noch die in dem genäherten Ende sich befindende Elektrizität zurück, weil sie durch die entgegengesetzte des Konduktors gebunden ist — sie wird aber, wenn der Leiter vom Konduktor entfernt, also aus dessen Wirkungskreise gebracht wird, frei und verbreitet sich auf dem ganzen Leiter, weshalb die Korkkügelchen wieder divergiren und alle die der Elektrizität des Konduktors entgegengesetzte E zeigen. Ein durch Vertheilung elektrisch gewordener Körper kann selbst wieder auf einen andern vertheilend wirken und dieser zweite auf einen dritten u. s. w., selbst wenn, wie Rieß und Faraday dargethan haben, Nichtleiter als Zwischenkörper vorkommen.

b. Ist der genäherte Körper ein nicht isolirter Leiter, so ist zwar die Einwirkung des elektrischen Körpers auf ihn dieselbe, da aber die freie abgestoßene Elektrizität in den Erdboden sofort abgeführt wird, und die angezogene, sobald sie durch Entfernung des Leiters aus dem Wirkungskreise des Konduktors frei wird und sich mit der aus dem Erdboden zugeführten $\pm$ E ausgleicht, so kann ein Leiter in diesem Falle keine Elektrizität zeigen.

c. Mit a und b hängen folgende über Influenz belehrende Versuche zusammen. 1) Zwei gleiche isolirte metallene Kugeln A und B werden neben einander so gestellt, daß sie sich berühren. Wird nun eine geriebene Siegellackstange der A hinlänglich genähert, darauf B und dann auch A entfernt, so zeigt sich B negativ, A aber positiv elektrisch — offenbar wurde durch das negativ elektrische Siegellack die negative Elektrizität aus A nach B abgestoßen und die positive aus B nach A angezogen. Werden nach der Trennung die Kugeln wieder einander genähert, so entsteht zwischen ihnen ein Funken, und sie zeigen hierauf keine Elektrizität mehr. Im Funken vereinigen sich

offenbar die beiden Elektrizitäten und heben sich dadurch auf. — 2) Versehen wir die Kugel A auf irgend eine Art mit einer der beiden Elektrizitäten, so werden in der Kugel B, wenn wir sie neben A in einiger Entfernung stellen, durch Influenz nach (a) beide Elektrizitäten entstehen. Hatte A die + E, so wird in B die — E angezogen und die + E abgestoßen, bei Verminderung der Entfernung entsteht zwischen den Kugeln ein Funken, und A zeigt hierauf gar keine, B aber positive Elektrizität, — offenbar haben sich hier die + E in A und die — E in B zum Funken vereinigt und B behielt seine eigene + E, so daß B diese + E nicht von A erhalten hat. — 3) Wird der Versuch so abgeändert, daß B leitend mit der Erde verbunden wird, so entsteht zwar auch der Funken, aber B kann hierauf seine + E nicht zeigen, da diese schon vor dem Entstehen des Funkens zur Erde abgeleitet war.

d. Ist endlich der genäherte Körper ein Nichtleiter, so bemerkt man an ihm Zonen, die mit + und — E abwechselnd versehen sind, so daß die erste Zone an dem genäherten Ende die entgegengesetzte Elektrizität hat, und die Elektrizität der Zonen desto schwächer wird, je entfernter diese sind, und zuletzt ganz aufhört, das entfernte Ende also gar nicht mehr elektrisch ist.

Die elektrischen Zonen sind mit den magnetischen Folgepunkten zu vergleichen. — Die eine Elektrizität eines Körpers wird frei, entweder indem die andere gebunden oder ganz abgeleitet wird.

2) Wenn zwei Körper an einander gerieben werden, so zeigt der eine immer + E und der andere — E, wenn nicht irgend wie eine Ableitung stattgefunden hat. Es ist, wie wenn durch die Reibung zuerst eine Vertheilung der beiden Elektrizitäten in jedem Körper und darauf eine Anhäufung der + E auf dem einen und der — E auf dem anderen einträte; es ist aber noch kein allgemeines Gesetz bekannt, nach dem man bestimmen könnte, welcher von zwei an einander geriebenen Körpern positiv, und welcher negativ elektrisch werden muß. In folgender Reihe verhalten sich die Körper so zu einander, daß jeder von ihnen positiv elektrisch wird, wenn er mit einem der auf ihn folgenden, und negativ, wenn er mit einem der ihm voranstehenden gerieben wird. Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Papier, Seide, Harz, Bernstein, Schwefel, mattgeschliffenes Glas.

206. 1) Die Mittheilung des Magnetismus ist nur eine Vertheilung desselben, der dabei gebrauchte Magnet verliert nichts von seiner Kraft, und so sind magnetische Vertheilung und Mittheilung gleichbedeutend (§ 197); zwischen der elektrischen Vertheilung und Mittheilung aber zeigt sich ein Unterschied. Der mittheilende Körper verliert einen Theil seiner Elektrizität, den der andere erhält, aber der Mittheilung geht immer eine Vertheilung voran. Wird einem stark oder anhaltend elektrischen Körper ein isolirter Leiter genähert, so wirkt zuerst die Vertheilung nach § 205, dann aber findet bei Berührung oder bedeutender Annäherung der beiden Körper ein wirkliches Hinüber=

strömen der Elektrizität statt, so daß der ursprünglich elektrische Körper dem ursprünglich nicht elektrischen von seiner Elektrizität mittheilt und und ihn so gleichnamig elektrisch macht.

Bei dem Anziehen und Abstoßen der Körper durch elektrische Körper findet zuerst eine Vertheilung, dann wegen der ungleichnamigen Elektrizitäten ein Anziehen, dann eine Mittheilung der Elektrizität, und zuletzt wegen der gleichnamigen Elektrizitäten ein Abstoßen statt.

2) Bei der Mittheilung der Elektrizität ist die Gestalt der Körper von großem Einflusse. Genau ebene Körper geben die Elektrizität eben so schwer ab, als sie dieselbe annehmen, etwas leichter schon die abgerundeten, am leichtesten aber die spitz zulaufenden; und merkwürdig ist dabei die Form des elektrischen Lichtes, welches bei abgerundeten Körpern als Funken, bei Spitzen meist als Feuerbüschel erscheint.

Die aus Spitzen ausströmende + E zeigt sich als Feuerbüschel oder Strahlenkegel, die — E nur als leuchtender Punkt oder Stern. Wird eine Spitze einem Körper mit + E entgegengehalten, so zeigt sich auf ihr ein leuchtender Punkt, ein Strahlenkegel dagegen, wenn jener Körper — E hat. Die Lichtenberg'schen Figuren, strahlig oder rundlich, beweisen die Verschiedenheit der beiden Elektrizitäten.

3) Die Elektrizität haftet nur an der Oberfläche der Körper, ihre Stärke (Spannung, Intensität) aber, welche im Allgemeinen, wenn sie ursprünglich ist, von der Größe und materiellen Beschaffenheit der Körper, wenn sie mitgetheilt ist, von der Stärke der Elektrizität des mittheilenden Körpers abhängt, ist nicht immer an allen Stellen der Oberfläche gleich groß. Auch hier ist die Gestalt der Körper von Einfluß; so zeigt z. B. eine elektrische Kugel an allen Stellen denselben Grad von Elektrizität, bei einer Pyramide dagegen haben die Kanten einen höheren Grad, als die Flächen, und einen noch höheren die Ecken.

Werden eine elektrische massive Metallkugel und eine eben so große unelektrische hohle Metallkugel mit einander berührt, so findet man nach der Berührung die Elektrizität unter sie gleich vertheilt. Wird ein Scheibchen aus Gold- oder Silberpapier, an einem seidenen Faden isolirt, in eine gebohrte Oeffnung eines elektrischen massiven Körpers heruntergelassen, so nimmt es bei der Berührung der inneren Wände nirgends Elektrizität an, wohl aber bei der Berührung des obersten Randes, wie überall an der Oberfläche.

Auf der elektrischen Anziehung, Abstoßung, Vertheilung und Mittheilung beruhen alle elektrischen Erscheinungen und Instrumente, von welchen letzteren hier nur die zu einem elektrischen Apparate nothwendig gehörenden herausgehoben werden sollen.

2. Von den elektrischen Instrumenten.

207. Instrumente, deren Bestimmung ist, ursprüngliche Elektrizität in bedeutender Menge zu erregen und anderen Körpern mitzutheilen, sind: die **Elektrisirmaschine**, das vorzüglichste elektrische Instrument, und der **Elektrophor**.

1) Die Elektrisirmaschine hat drei wesentliche Theile: 1) den geriebenen Körper oder den Reiber, einen Nichtleiter, gewöhnlich Glas, in der Form eines Zylinders oder einer Scheibe; 2) den reibenden Körper oder das Reibzeug, bei den Glasmaschinen meistens ein mit Haaren ausgestopftes und auf der dem Reiber zugewendeten Seite mit einem Amalgame (etwa ein Theil Zinn, ein Theil Zink und zwei Theile Quecksilber) bestrichenes Lederkissen, dessen Form nach der Form des Reibers verschieden ist, und welches bei guten Maschinen auf Glasfüßen ruht; 3) den Konduktor (Hauptleiter, erster Leiter), gewöhnlich ein hohler, auf Glasfüßen stehender, also isolirter Zylinder aus Metallblech, der die Bestimmung hat, die durch das Aneinanderreiben jener beiden ersten Körper vom Reiber entstandene Elektrizität, welche bei Glasmaschinen positiv ist, aufzunehmen. Derjenige Theil desselben, der die Elektrizität im Reiber unmittelbar empfängt, heißt der Zuleiter. Die besser eingerichteten Maschinen haben auch einen besonderen Konduktor für das Reibzeug; jener kann positiver und dieser negativer Konduktor heißen. Jeder isolirte Leiter, der mit dem Konduktor unmittelbar oder mittelbar durch einen anderen Leiter in Verbindung steht, vergrößert ihn nur, so daß z. B. ein auf einem Harzkuchen oder einem Isolirschemel stehender Mensch als ein wirklicher Theil des Konduktors zu betrachten ist.

2) a. Will man durch die Glasmaschine + E erhalten, so verbindet man das isolirte Reibzeug mit dem Boden durch eine Metallkette, oder man läßt einen auf dem Boden stehenden Menschen die Hand darauflegen. Der Konduktor zeigt sich dann bei erfolgter Drehung stark positiv elektrisch. b. Will man dagegen — E haben, so muß, wie vorhin das isolirte Reibzeug, jetzt der isolirte Konduktor mit der Erde leitend verbunden werden; das Reibzeug, so wie jeder besondere mit ihm in Verbindung gebrachte Konduktor zeigt sich dann stark negativ elektrisch. c. Wird weder der Konduktor des geriebenen Körpers noch der des Reibzeuges mit der Erde leitend verbunden, so zeigt sich jener schwach positiv, dieser schwach negativ elektrisch. d. Werden sie endlich beide mit der Erde oder mit einander leitend verbunden, so zeigt keiner von beiden Elektrizität. Die Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine hängt vorzüglich ab von der Größe der geriebenen Fläche beim Reiber, von der Anzahl der Umdrehungen, von der Wärme des Reibers und des Reibzeuges und von der Trockenheit der Atmosphäre.

Der Reiber und das Reibzeug werden nach § 205, 2, der Konduktor nach § 206, 1 elektrisch. — In den Fällen a und b bei (2) wird durch die Ableitung der einen Elektrizität die Schwächung der anderen verhütet; in dem Falle c findet eine wechselseitige Schwächung durch Bindung und theilweise Ausgleichung in Folge der großen Nähe des Reibers und des Reibzeuges statt und in dem Falle d tritt eine vollständige Aufhebung ein.

Harz-, Glas-, Zeugmaschinen; Zylinder- und Scheibenmaschinen. — Wie wird die Bewegung des Reibers bewirkt? Wozu dienen beim Kissen die

elastischen Federn und das Stück Wachstaffet oder Seidenzeug? Wozu sind die isolirenden Glasfüße mit Siegellack oder einem anderen Lack überzogen? Warum ist der Konduktor an den Rändern möglichst abgerundet, und warum hat der Zuleiter an der dem Reiber zugewendeten Seite eine Schneide oder Spitzen? Die größte Elektrisirmaschine ist die Scheibenmaschine von Kuthbertson im Teyler'schen Museum zu Harlem; sie hat zwei Scheiben von der Größe eines großen Wagenrades, acht Kissen, einen Konduktor von drei und zwanzig und einem halben Quadratfuß Oberfläche, welcher von fast 5 Fuß hohen Glasfüßen getragen wird. Sie giebt Funken von 2 Fuß Länge und der Dicke eines Federkiels. Als Erfinder der Elektrisirmaschine gilt Otto von Guericke (1676); sein Reiber war eine Schwefelkugel, das Reibzeug seine hohle Hand. Vollständige Elektrisirmaschinen, d. i. Maschinen, die Reiber, Reibzeug und Konduktor enthielten, verfertigte 1744 zuerst ein deutscher Physiker, *Bose* in Wittenberg.

Die gewöhnlichsten Versuche mit der Elektrisirmaschine, die hier nur angedeutet werden sollen, sind:

1) *Mechanische Wirkungen* oder *Anziehen* und *Abstoßen*. Man nähere ein Korkkügelchen an einem leinenen, ein anderes an einem seidenen Faden dem Konduktor; man hänge einen leinenen und einen seidenen Faden, an beiden Enden mit Korkkügelchen versehen, um den Konduktor. Puppentanz der Hollunder- und Goldkügelchen, elektrisches Glockenspiel, das Aufschwellen eines Büschels von Haaren oder Baumwolle; das Ausblasen einer Flamme mittelst einer am Konduktor angebrachten Spitze, das elektrische Flugrad, die elektrische Sichel. Erzeugung der Siegellackfäden, wenn man Tropfen flüssigen Siegellacks auf den Konduktor fallen läßt; Emporheben des Kopfhaares eines auf dem Isolirstuhle stehenden und den Konduktor berührenden Menschen. Henley'sche Elektrometer. Die Franklin'sche Tafel § 209.

2) *Lichterscheinungen* oder *leuchtende Versuche*. Im Finstern sieht man, wenn die Maschine gedreht wird, das elektrische Licht aus dem Reiber in den Zuleiter strömen; auf jeden genäherten Leiter springt aus dem Konduktor ein Funken — längere Funken beschreiben keine gerade, sondern eine Zickzack-Linie —, sowie aus allen Theilen eines ihn haltenden und auf dem Isolirstuhle stehenden Menschen; aus jeder am Konduktor angebrachten Metallspitze strömt ein Strahlenkegel, so wie an jeder demselben genäherten Spitze nur ein leuchtender Punkt erscheint. — Man kann einen Menschen mit einem elektrischen Strahlenkranze umgeben, und, weil Funken nur da erscheinen, wo in einem Leiter die Strömung der Elektrizität unterbrochen wird, auch leuchtende, verschiedenfarbige Figuren auf Glas, welches mit verschiedenen, nahe an einander liegenden Staniolstückchen belegt worden ist, hervorbringen. Blitzstrahl, Nordlicht; luftleere Röhren.

3) *Wärmeerregung* oder *zündende Versuche*. Entzündung leicht entzündlicher Körper, z. B. des Spiritus, Schwefeläthers, Harzstaubes durch den elektrischen Funken des Konduktors oder eines auf einem Isolirstuhle stehenden und den Konduktor berührenden Menschen; ferner Entzündung des Knallgases in der elektrischen Pistole.

4) *Chemische Wirkungen*. Zersetzung des Wassers in Sauerstoffgas und Wasserstoffgas.

5) *Physiologische Wirkungen*. Bemerkenswerth sind das Gefühl bei der Annäherung der Hand an den Konduktor, als griffe man in Spinngewebe, welche Empfindung dadurch hervorgebracht wird, daß die feinen kleinen Härchen der Hand von der Elektrizität angezogen und dann abgestoßen werden, vorzüglich wohl aber dadurch, daß die vom Konduktor angezogene und darauf abgestoßene Luft als Wind empfunden wird; der stechende Schmerz, wenn man einen Funken nimmt; das Geräusch, das diesen begleitet; der phosphorartige Geruch während des Gebrauchs der Maschine rührt nach *Schönbein* von der Bildung einer eigenthümlichen Substanz, des *Ozon*.

6) Auch magnetische Wirkungen zeigen sich, denn wenn, wie in neuerer Zeit Faraday that, das eine Ende des Multiplikators (§ 220) mit dem Konduktor einer starken Elektrisirmaschine, das andere aber mit der Erde leitend verbunden wird, so weicht eine in den Multiplikator gestellte Magnetnadel östlich oder westlich ab. Zu den Versuchen mit der Elektrisirmaschine rechnet man sonst auch die noch anzuführenden Versuche mit der elektrischen Flasche und Batterie.

Die Dampfelektrisirmaschine oder die Hydroelektrisirmaschine von dem Engländer Armstrong (1840), die hinsichtlich der Wirkung alle bisher bekannten Elektrisirmaschinen übertrifft, verdanken wir der vor einigen Jahren in England zufällig gemachten Beobachtung, daß ein Dampfkessel sich stark elektrisch zeigte, als aus einer kleinen Oeffnung desselben Dampf gewaltsam ausströmte. Ein Dampfkessel mit inwendiger Heizung ruht auf Glasfüßen und hat oben zweckmäßig angebrachte Ausströmungsröhren und seitwärts davon ein Sicherheitsventil. Die Elektrizität entsteht nur durch Reibung des gewaltsam ausströmenden Dampfes an den Wänden der Ausströmungsröhren, denn bei geöffnetem Sicherheitsventile hört die Elektrizitäts-Erzeugung sofort auf. Der entweichende Dampf und der Kessel haben stets entgegengesetzte Elektrizitäten, wobei die materielle Beschaffenheit der Enden der Ausströmungsröhren von Einfluß ist, z. B. der Dampf ist positiv und der Kessel also negativ elektrisch bei hölzernen, metallenen und gläsernen Röhrmündungen, während das Umgekehrte stattfindet, wenn einiges Terpentinöl in die Röhren gebracht wird.

208. 1) Der Elektrophor, von Volta um das Jahr 1776 erfunden, hat drei Haupttheile: 1) die Form oder Schüssel, 2) den Kuchen, welche zwei Theile ein Ganzes, die Basis, bilden, und 3) den Deckel oder die Trommel. Die Form ist eine eckige oder runde Schüssel aus einem Leiter, aus Eisenblech oder Holz mit Zinnfolie oder auch aus Pappe mit Gold- oder Silberpapier überzogen; der Kuchen ist ein Nichtleiter, welcher die Schüssel ausfüllt, meist geschmolzenes Harz oder Siegellack oder eine Mischung aus mehreren nicht leitenden Substanzen, wie 8 Th. Kolophonium, 1 Th. Schellack und 1 Th. Terpentin, oder, was die beste Mischung sein soll, 10 Th. Schellack, 3 Harz, 2 Terpentin, 2 Wachs und $^1/_2$ Th. Pech; mit glatter, ebener Fläche; und 3) der Deckel endlich ist eine leitende runde Platte aus Eisenblech, aus Zinn oder aus mit Stanniol oder Silberpapier überzogener Pappe, von etwas kleinerem Durchmesser, als der Kuchen, und mit einer isolirenden Handhabe, einem Glasstabe oder seidenen Schnüren, zum Heben versehen.

2) Um Elektrizität im Elektrophor, der isolirt und nicht isolirt sein kann, zu erregen, nimmt man den Deckel ab und peitscht mit einem Fuchsschwanze oder Katzenfelle den Kuchen, worauf sich drei Haupterscheinungen beobachten lassen: 1) Der Deckel auf den Kuchen gesetzt und hierauf weggehoben, zeigt keine Elektrizität; 2) der

Deckel auf den Kuchen gesetzt, mit dem Finger berührt, giebt einen Funken, und darauf weggehoben, bei abermaliger Berührung mit dem Finger, einen zweiten Funken; 3) der Deckel endlich wieder auf den Kuchen gesetzt und zuerst die Schüssel, etwa mit dem Daumen und darauf er selbst mit dem Zeigefinger oder auch jener zuerst mit der einen Hand und dann dieser mit der anderen Hand berührt, verursacht einen erschütternden Schlag und giebt bei hierauf erfolgtem Aufheben dem genäherten Finger einen stärkeren Funken, als im zweiten Falle; auch giebt bei dem isolirten Elektrophor die Schüssel Funken. — Diese Erscheinungen zeigen sich auch, aber im schwächern Grade, wenn der Deckel dem gepeitschten Kuchen nur genähert wird, ohne daß er auf denselben gelegt wird.

Die Untersuchung des elektrischen Zustandes der drei Theile des Elektrophors giebt folgendes Resultat: Der gepeitschte Kuchen hat — E, der Deckel auf dem Kuchen liegend, auch — E; aufgehoben, ohne vorher, während er auf dem Kuchen lag, berührt worden zu sein, zeigt er keine, dagegen aufgehoben nach erfolgter Berührung, + E. Die Schüssel endlich zeigt beim isolirten Elektrophor — E und zwar stärker, wenn der Deckel nicht aufliegt, beim nicht isolirten dagegen keine Elektrizität. Dieser elektrische Zustand entspricht dem Gesetze der Vertheilung. Die im Kuchen durch Peitschen desselben entstandene — E wirkt sowohl auf die Elektrizität des Deckels wie auf die der Schüssel vertheilend; sie zieht einerseits die + E des Deckels auf seine untere Fläche und stößt die — E auf seine obere Fläche, so wie sie auch andererseits die + E der Schüssel auf ihre obere Fläche anzieht und die — E auf ihre untere Fläche abstößt. Die — E des Kuchens hält die + E des Deckels und die + E der Schüssel durch Anziehung fest, sie bindet sie, während die — E des Deckels beim isolirten und nicht isolirten Elektrophor frei, die — E der Schüssel aber beim isolirten ebenfalls frei ist, beim nicht isolirten dagegen nach der Erde abgeleitet wird.

a) Wird der Deckel, ohne berührt worden zu sein, aufgehoben, so wird seine + E aus der Bindung mit der — E des Kuchens gezogen, bindet sich aber sofort mit der freien — E des Deckels; der Deckel tritt also in den natürlichen Zustand (± E) und kann mithin keine Elektrizität zeigen.

b) Wird der Deckel, indem er auf dem Kuchen liegt, berührt, so nimmt man ihm seine freie — E, die sich mit der + E des Fingers zum Funken vereinigt, und er behält auf seiner unteren Fläche nur noch + E, aber so lange er auf dem Kuchen liegt, mit dessen — E in Bindung, weshalb sie ihm durch wiederholte Berührungen nicht genommen werden kann; so wie aber der Deckel aufgehoben wird, wird seine + E aus dieser Bindung gezogen, sie wird frei, verbreitet sich auf dem ganzen Deckel, und kann diesem an jeder Stelle durch einen Leiter entzogen werden.

c) Daß endlich, wenn Deckel und Schüssel in der angegebenen Art berührt werden, eine förmliche Erschütterung und nach der Aufhebung des Deckels ein stärkerer Funken als im zweiten Falle erfolgt, ist kaum genügend zu erklären; möglicher Weise verhält sich die Sache so: zuerst wird die freie negative Elektrizität der Schüssel durch Berührung abgeleitet, hierauf zieht bei Berührung des Deckels dessen freie negative Elektrizität die positive der Schüssel aus ihrer Bindung mit der negativen des Kuchens, die, weil schon durch die positive des Deckels stark beschäftigt auf die Schüssel schwächer wirkt, und die lebhafte Vereinigung der entgegengesetzten Elektrizitäten macht sich durch eine Erschütterung fühlbar. Daß beim isolirten Elektrophor die Schüssel stärker negativ elektrisch ist, wenn der Deckel nicht aufliegt, als wenn er aufliegt, kommt vielleicht daher, daß die — E der Schüssel in dem einen Fall mit ganzer Kraft nur auf die Schüssel, im andern aber auf die Schüssel und den Deckel, also mit getheilter Kraft, vertheilend wirkt. Da beim isolirten Elektrophor die — E der Schüssel frei ist, so muß diese, durch einen Leiter berührt, Funken geben, während sie das im nicht isolirten Zustande nicht kann, da ihre freie Elektrizität in den Erdboden abgeleitet ist.

Der Deckel ist, nachdem er auf dem Kuchen liegend berührt und von diesem entfernt worden ist, das, was der Konduktor der Elektrisirmaschine, woraus folgt, daß er in vielen Fällen statt desselben gebraucht werden kann. Unter günstigen Umständen behält der Elektrophor Monate lang die einmal erregte Elektrizität, wenn nur der Deckel liegen bleibt, daher seine Benennung Elektrophor, d. i. Elektrizitätsträger. — Den größten Elektrophor hat Lichtenberg gebaut; die Form hatte 7, der Deckel 6 Fuß im Durchmesser. Ein Glaselektrophor hat, wenn man sich eines wollenen Lappens zur Reibung bedient, entgegengesetzte Elektrizitätszustände (§ 205, 2). — Guttapercha-Elektrophore, so wie Elektrophore, bei denen elektrisches Papier angewendet wird. — Im elektrischen Feuerzeuge wird Wasserstoffgas durch den elektrischen Funken eines Elektrophors entzündet.

209. Instrumente, deren Bestimmung ist, die durch die Elektrisirmaschine oder den Elektrophor erregte Elektrizität anzuhäufen und dadurch verstärkte Wirkungen hervorzubringen, sind: die elektrischen Flaschen, Tafeln und Batterien.

1) Die elektrische Flasche, auch elektrische Verstärkungsflasche, Leidener oder Kleist'sche Flasche genannt, ist ein Becher von dünnem Glase, in- und auswendig mit Belegungen, d. i. mit einem leitenden Körper, meist Stanniol oder Goldpapier, bis 1—2 Zoll vom oberen Rande, überzogen. Im Innern des Bechers wird auf der Metallbelegung ein Draht oder ein stärkeres Metallstäbchen, das über demselben in einem Knopfe hervorragt, aufgerichtet, welcher nur als eine zu Versuchen bequeme Erweiterung der inneren Belegung zu betrachten ist. Der obere unbelegte Rand wird gewöhnlich mit in Weingeiste gelöstem Schellack überstrichen. Die elektrische Tafel, auch elektrische Verstärkungstafel oder Franklin'sche Tafel genannt, ist eine Glastafel, auf beiden Hauptseiten mit solchen

leitenden Belegungen, die nicht bis an die Ränder reichen, versehen. Die elektrische Tafel ist gleichsam eine in eine Ebene ausgebreitete elektrische Flasche.

Eine elektrische Flasche wird geladen, d. h. mit Elektrizität versehen, wenn die eine Belegung mit einem elektrischen Körper, die andere aber mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt wird; also z. B. wenn man, wie das gewöhnlich geschieht, die Flasche an der äußeren Belegung in der Hand hält, während der Knopf derselben den Konduktor einer thätigen Elektrisirmaschine, oder den gehörig behandelten Deckel eines Elektrophors berührt, oder ihnen so genähert wird, daß Funken überspringen können.

Die Haupterscheinung an der geladenen Flasche ist die, daß die beiden Belegungen entgegengesetzte Elektrizitäten zeigen, und zwar die mit dem elektrischen Körper in Berührung gestandene die gleichnamige, die andere die entgegengesetzte. Eine elektrische Flasche wird entladen, d. h. ihrer Elektrizität beraubt, wenn beide Belegungen mittelst eines Leiters mit einander verbunden werden, also z. B. wenn man sie an der äußeren Belegung mit einer Hand hält, mit der anderen aber den Knopf berührt; oder durch den Henley'schen Auslader.

Entladung der Flasche durch einen und durch mehrere Menschen, durch eine Metallkette; die dabei stattfindende Erschütterung in den Gelenken, besonders in Händen, Elbogen, Schultern und Brust, kommt von dem Ueberspringen des elektrischen Funkens in Folge der Unterbrechung des elektrischen Stromes. Entzündung leicht entzündlicher Körper; Durchbohrung eines Kartenblattes, wobei die Oeffnung auf beiden Seiten einen erhabenen Rand zeigt, woraus hervorgeht, daß der elektrische Strom nicht etwa blos von einer Belegung zur andern, sondern von beiden zugleich ausgeht, daß also von der äußeren Belegung zur inneren die eine Elektrizität, gleichzeitig aber auch von der inneren Belegung zur äußeren die andere Elektrizität strömt. — Eine Stahlnadel wird magnetisch, wenn sie, durch ein Glasröhrchen isolirt, in einen spiralförmig gewundenen Draht gesteckt und durch diesen die Entladung einer Leidener Flasche mehrere Mal geführt wird. — Domherr von Kleist in Kamin November 1745 und Muschenbröck in Leiden März 1746.

Woran erkennt man es, daß die Flasche stark genug geladen ist? Wie kann man mittelst der Leidener Flasche den Elektrophor nach Belieben mit + E und — E laden? — Residuum. — Eine allmälige Ausladung kann man durch Berührung, durch Spitzen und durch die Luft, die nie ganz frei von Feuchtigkeit ist, bewirken.

Die Wirkung der Leidener Flasche beruht wie die des Elektrophors auf dem Gesetze der Vertheilung. Die der einen Belegung mitgetheilte Elektrizität wirkt nämlich durch das Glas hindurch vertheilend auf die Elektrizitäten der andern Belegung: die entgegengesetzte anziehend und bindend, die gleichnamige abstoßend. Diese wechselseitige Bindung der entgegengesetzten Elektrizitäten auf den beiden Belegungen hat zur Folge, daß man der ersten Belegung zu wiederholten Malen dieselbe Elektrizität zuführen kann, welche immer wieder in derselben Art eine Vertheilung bewirkt, welche desto leichter vor sich geht, je dünner das Glas ist. Die Entladung ist die Vereinigung der in den beiden Belegungen angehäuften entgegengesetzten

Elektrizitäten. Nur die nicht isolirte Flasche kann stark geladen werden, die isolirte dagegen zeigt immer eine schwache Ladung.

Bei zu dünnem Glase der Leidener Flasche oder Franklin'schen Tafel vereinigen sich die beiden Elektrizitäten nicht selten, indem sie das Glas durchbrechen, wodurch das Instrument unbrauchbar wird. — Selbstentladung. — Der elektrische Becherapparat ist eine Leidener Flasche, deren drei Theile drei auseinandernehmbare Becher sind. — Die Leidener Flasche kann ein Glaselektrophor genannt werden.

Kann sich die Elektrizität durch mehrere Leiter entladen, so wählt sie der Regel nach den besten (§ 202, 1), wenn nicht etwa der Weg durch den schlechteren bedeutend kürzer ist.

Man kann die Arme eines Ausladers beim Ausladen halten, ohne einen Schlag zu erhalten.

2) Die elektrische Batterie besteht aus mehreren elektrischen Flaschen, deren äußere Belegungen mit einander leitend verbunden sind, und ebenso die inneren, jene dadurch, daß alle Flaschen auf dem gewöhnlich mit Stanniol belegten Boden eines Kastens stehen, diese dagegen dadurch, daß entweder durch alle Knöpfe ein Draht gezogen ist, oder daß sich alle Drähte der Flaschen in einem gemeinschaftlichen Metallknopfe vereinigen. Aus der Natur der Leiter folgt, daß bei Ladung und Entladung einer dieser Flaschen alle geladen und entladen werden müssen, und daß mithin eine elektrische Batterie wie eine elektrische Flasche geladen und entladen wird, und auch nur wie diese, aber in bedeutend verstärktem Maaße, wirkt.

Ein einziger Funken der Batterie durchbohrt ein ganzes Spiel Karten, macht Metallfäden glühend, oxydirt, schmilzt und verflüchtigt sie; die Erschütterung ist so groß, daß dadurch Thiere, wie Vögel, Katzen, Hunde getödtet werden können. Auch lassen sich durch die Entladung der Batterie und selbst einer einzelnen größeren Flasche Stahldrähte nicht nur magnetisch machen, sondern man kann auch in schon magnetischen Drähten den Magnetismus schwächen, vernichten, ja sogar ihre Pole umkehren. Die vollständige Entladung einer Batterie, ja selbst einer einzelnen Flasche, erfordert wiederholte Entladungen; und bei den Rückständen in den Batterien nach der ersten Entladung ist die größte Vorsicht nöthig. — Elektrisches Residuum. — Batterie aus Franklin'schen Tafeln. — Die Batterie bei der Teyler'schen Elektrisirmaschine hat 350 Quadratfuß Belegung.

210. 1) **Elektroskope** und **Elektrometer** sind Instrumente zur Bestimmung: 1) ob ein Körper überhaupt Elektrizität besitzt, 2) ob er + oder — E hat, und 3) ob er sie in einem höheren oder niederen Grade besitzt, als ein anderer. Die Wirkung dieser Instrumente beruht auf der Vertheilung und Mittheilung der Elektrizität, so wie auf den Gesetzen der Anziehung und Abstoßung. Das einfachste ist das **Kanton**'sche, bei welchem zwei Korkkügelchen entweder an den Enden eines seidenen Fadens, oder an besonderen leinenen Fäden, die wieder an einem seidenen parallel herabhängen, befestigt sind, so wie die empfindlichsten **Volta**'s Strohhalmelektrometer und **Bennet**'s Goldblattelektrometer, und das genaueste das

bei starken Elektrizitäten zu gebrauchende Henley'sche Quadrantelektrometer, welches die durch Elektrizität hervorgebrachte Divergenz nach Graden angiebt. Wie durch das Bennet'sche Elektrometer der dreifache Zweck erreicht wird, läßt sich durch schwach geriebene Glas- und Siegellackstäbchen zeigen.

a) Ein Körper besitzt Elektrizität, wenn er bei Annäherung an das Kügelchen des Elektrometers oder dessen Berührung eine Divergenz der Goldblättchen bewirkt. So lange man das geriebene Siegellack in der Nähe des Kügelchens hält, divergiren die Goldblättchen; berührt man aber dasselbe bei unveränderter Haltung des Siegellacks, so sinken sie, verlieren also ihre Elektrizität und bleiben in diesem Zustande, wenn der Finger weggenommen und der elektrische Körper unverändert an seiner Stelle gehalten wird, gehen aber sofort wieder auseinander, wenn auch dieser entfernt wird, was nicht geschieht, wenn zuerst das Siegellack und dann der Finger weggezogen wird. Es wirkt hier zuerst die Vertheilung. — Die negative Elektrizität des Siegellacks bindet im Kügelchen die + E, und die Goldblättchen gehen mit — E, also mit der des Siegellacks, auseinander, verlieren sie hierauf durch Berührung des Kügelchens oder seines Stäbchens, gehen aber mit + E auseinander, welche im Kügelchen durch die Entfernung des Siegellacks frei wird, und welche sich nicht wirksam zeigen kann, weil sie durch den Finger abgeleitet wird, wenn zuerst das Siegellack und dann der Finger weggezogen wird.

b) Die Prüfung der Art der Elektrizität beruht darauf, daß jede Elektrizität die Wirkung der entgegengesetzten vermindert oder aufhebt, die der gleichnamigen aber vermehrt. Die Elektrizität der Siegellackstange bindet im Kügelchen + E und läßt die Goldblättchen mit — E divergiren; ein zweites Siegellackstäbchen, dem Kügelchen etwa von der entgegengesetzten Seite genähert, bewirkt dasselbe, so daß im Kügelchen noch mehr + E gebunden und in den Goldblättchen noch mehr — E frei wird, was natürlich die Divergenz vermehren muß. Ein Gleiches geschieht bei Glasstäbchen, durch welche im Kügelchen — E gebunden wird, während die Goldblättchen mit + E auseinander gehen. Wenn nun gleichzeitig ein Glas- und ein Siegellackstäbchen gebraucht werden, so bindet jenes —, dieses + E, durch jenes wird in den Goldblättchen +, durch dieses — E frei, die sich nun vermindern oder ganz aufheben können. Wird also die durch irgend einen Körper bewirkte Divergenz der Goldblättchen durch genähertes, mit Wolle geriebenes Siegellack vermehrt, so hat er — E, wird sie vermindert, aber + E; wird sie aber durch genähertes, mit Wolle geriebenes Glas vermehrt, so hat er + E, wie im entgegengesetzten Falle — E. Der Körper ist also positiv elektrisch, wenn die Divergenz durch Siegellack vermindert oder durch Glas vermehrt wird; dagegen negativ elektrisch, wenn sie durch Siegellack vermehrt oder durch Glas vermindert wird, wobei vorausgesetzt wird, daß man

einen Wollenstoff oder einen gleichwirkenden andern Körper als reibenden Körper braucht.

c) Auf die Stärke oder Intensität schließt man aus der Größe des Divergenzwinkels der Goldblättchen, zu deren Messung sich häufig an dem Instrumente eine Eintheilung vorfindet; so wie beim Quadrant-Elektrometer.

2) Der Kondensator, Mikroelektrometer, dient zur Entdeckung schwacher Grade von Elektrizität. Seine wesentlichen Theile sind: die Basis, Unterlage, jetzt gewöhnlich eine Metallscheibe von 2—3 Zoll im Durchmesser, mit einem nicht leitenden dünnen Ueberzuge, etwa aus Taffet, weit besser aber aus Siegellack oder Firniß, oder auch vergoldetes Spiegelglas mit Firniß überzogen; und der Kollektor, Sammlungsplatte, Deckel, eine metallene Scheibe mit einer isolirenden Handhabe. Es ist gut, an jede Scheibe an der Seite ein an einem Drahte sich befindendes Metallkügelchen anzubringen.

Die Haupterscheinung ist hier die, daß der Deckel, indem er auf der Basis ruht, mitgetheilte Elektrizität nicht zeigt, wohl aber, wenn er mit der nöthigen Vorsicht entfernt wird. Auch das beruht auf der Vertheilung. Die dem Deckel mitgetheilte Elektrizität wirkt auf die Basis vertheilend, da die dünne Firnißschichte die Mittheilung hindert, bindet die entgegengesetzte Elektrizität, und es ist, als besäße der Deckel noch gar keine Elektrizität, weshalb er, wenn die Basis zur Ableitung der in ihr frei gewordenen gleichnamigen Elektrizität berührt worden ist, von neuem noch welche annehmen kann, die aber sogleich eine gleiche Menge entgegengesetzter Elektrizität in der Basis an sich zieht und bindet. Durch das auf diese Art fortgesetzte Verfahren kann der Deckel nach und nach so viel Elektrizität aufnehmen, daß er, von der Basis abgenommen, wodurch die in ihm enthaltene Elektrizität frei wird, auf ein Elektroskop wirken kann. Auch die Basis enthält nach Abhebung des Deckels die andere Elektrizität im freien Zustande. Zuweilen ist die Elektrizität so schwach, daß man sich zu ihrer Entdeckung zweier Kondensatoren bedienen muß, indem man mit dem Deckel des einen zu wiederholten Malen den eines zweiten berührt, und erst diesen einem gewöhnlichen Elektrometer nähert.

3) Es ist sehr zweckmäßig, bei Untersuchung schwacher Grade von Elektrizität den Kondensator sogleich mit einem Elektrometer, z. B. dem Bennet'schen, in Verbindung zu setzen, indem man an diesem das Kügelchen abschraubt, und statt desselben die Basis des Kondensators anschraubt. Beim Gebrauche dieses Doppelinstruments wird eine beliebige Platte des Kondensators mit dem zu untersuchenden Körper, die andere aber immer ableitend berührt, natürlich erhalten die Goldblättchen die der Elektrizität des betrachteten Körpers entgegengesetzte oder gleichnamige Elektrizität, je nachdem die untere oder

die obere Scheibe des Kondensators, d. h. die Basis oder der Deckel ableitend berührt wird. Gehen also nach Abhebung des Deckels die Goldblättchen auseinander, so hat der untersuchte Körper Elektrizität, und wird dabei durch Siegellack die Divergenz vermehrt oder durch Glas vermindert, so schließt man hinsichtlich der Art der Elektrizität auf folgende Art:

a) wenn die Basis ableitend berührt wurde.

Da Siegellack die Divergenz vermehrt oder Glas vermindert, so haben die Goldblättchen, also auch die Basis — E, mithin der Deckel und der mit ihm in Berührung gekommene Körper + E.

b) wenn der Deckel ableitend berührt wurde.

Da Siegellack die Divergenz vermehrt oder Glas vermindert, so haben die Goldblättchen, also auch die Basis mithin auch der mit ihr in Berührung gekommene Körper — E.

Bei überaus schwachen Graden der Elektrizität bedient man sich mit Vortheil zweier solcher Instrumente mit ungleichen Kondensatorplatten, wodurch eine größere Vervielfältigung der Elektrizität bewirkt wird. In der Basis des großen Kondensators wird die untersuchte Elektrizität kondensirt und mit seinem Deckel, welcher die entgegengesetzte Elektrizität ebenfalls kondensirt enthält, der Deckel des kleinen Kondensators berührt, wodurch die Basis desselben, folglich auch die Goldblättchen, die Elektrizität des untersuchten Körpers erhalten.

Drei Glasstückchen, noch besser aber drei Siegellack- oder Schellacktröpfchen auf den Tisch, in Form eines Dreieckes, mit darauf gelegtem Deckel, geben auch schon einen Kondensator ab; der Tisch und die zwischen ihm und dem Deckel sich befindende Luftschichte sind dabei die Basis. Der Kondensator ist von Volta 1783 erfunden. Das empfindlichste Elektrometer, der Multiplikator, ist elektromagnetischer Natur (§ 220, 3).

3. Von den Elektrometeoren.

211. Die Lufterscheinungen, welche durch die Elektrizität hervorgebracht werden, oder die Elektrometeore, sind vorzüglich der Blitz, in dessen Gefolge der Donner ist, das Wetterleuchten, die Wetterlichter, die Wasserhosen und die Polarlichter.

1) Der Blitz ist ein großer elektrischer Funken, ein Feuerball zwischen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erdoberfläche, welcher gewaltsam die Luft trennt und dadurch, indem die getrennte Luft wieder zusammenströmt, ein Getöse, wie der gewöhnliche Funken des Konduktors einer Elektrisirmaschine ein Geräusch und das Fünkchen der geriebenen Siegellackstange ein Knistern, verursacht, welches, indem es die Erde und die Wolken als Echo wiedergeben, den sogenannten Donner hervorbringt. Da der Blitz oft einen weiten Weg, wohl

eine Meile, durchläuft, so gelangen die an verschiedenen Punkten entstandenen Detonationen des Donners (§ 144, 2) in verschiedenen Zeiten zu unserm Ohre. — Der Zickzack des Blitzes, ein wiederholtes Abspringen vom geradlinigen Wege, entsteht wahrscheinlich dadurch, daß der Blitz die vor sich hergetriebene Luft sehr verdichtet, und weil die verdichtete Luft ein schlechter Elektrizitätsleiter ist, sich nach der dünneren Luft als besseren Leiter wendet.

Der Blitz wirkt im vergrößerten Maaßstabe ganz so wie Schläge der elektrischen Batterie. Vor dem Einschlagen des Blitzes schützt man Gebäude durch Blitzableiter, deren Erfinder Franklin ist (1752). Sie entkräftigen Gewitterwolken nicht, auch verhüten sie den Blitz nicht, sondern sie leiten nur den ausbrechenden Blitz von Gebäuden ab in die Erde und machen ihn dadurch unschädlich. Das Wesentliche eines Blitzableiters besteht darin, daß an das Gebäude vom Gipfel an bis einige Fuß unter die feuchte Erdoberfläche eine zusammenhängende Metallverbindung angelegt wird, welche über dem Dache mit der sogenannten Fangestange, die in eine sehr feine Spitze endet, versehen ist. Der Blitz und der Donner, begleitet von Regen, Hagel, Sturm u. s. w., bilden das Gewitter. Die Gewitter gehören bei uns vorzugsweise dem Sommer an, und zwar den Nachmittagen schwüler Tage; Gewitter im Winter sind gewöhnlich sehr heftig. An der Küste Norwegens sind die Winter-Gewitter häufiger.

Blitzableiter aus Metallstreifen, gewöhnlich Bleistreifen. — Ableiter aus Messingdraht, besonders aus geflochtenen Messingdrähten. — Ableiter aus Eisenstangen. — Die Spitzen werden vergoldet, gehen auch in massives Silber oder in eine $1\frac{1}{2}$ Zoll lange Platina-Nadel aus.

Wodurch die Elektrizität der Wolken, die bald positiv, bald negativ ist, erzeugt wird, läßt sich mit Gewißheit nicht sagen, wiewohl es sehr wahrscheinlich ist, daß sie auf einem augenblicklichen chemischen Prozesse in den Wolken beruht, da die Wolken, aus wässerigen Dünsten bestehend, die Elektrizität nur unvollkommen leiten, daher nicht auf einmal entladet werden können; weshalb man oft eine und dieselbe Wolke schnell mehrere Male hintereinander blitzen sieht. Vielleicht erhalten auch die Wolken Elektrizität von der Luft, welche in trockenem Zustande elektrisch geworden ist, indem eine durch Erwärmung ausgedehnte Luftmasse die Dämpfe sehr schnell kondensirt; vielleicht wirken auch Vertheilung und Mittheilung von der Erde her. Manche nehmen an, die Luftelektrizität sei durch Verdunstung entstanden; verdunstet nämlich Wasser in einem Gefäße, so zeigt sich das Gefäß und das zurückgebliebene Wasser negativ elektrisch, weshalb die aufsteigenden Dünste positiv elektrisch sein müssen. Diese positive Elektrizität zeigt sich vielleicht erst bei hinlänglicher Verdichtung des Dunstes zu Wolken in der Art wirksam, daß sie durch Vertheilung auf der unter der Gewitterwolke liegenden Erdoberfläche negative Elektrizität hervorruft, worauf bei hinlänglicher Spannung der Elek-

trizitäten und hinlänglicher Annäherung der Wolke zur Erde eine Entladung, der Blitz, entsteht. Die negative Elektrizität mancher Wolken könnte wohl durch Vertheilung der positiv elektrischen Wolken entstanden sein.

Franklin's Versuche mit dem elektr. Drachen. Um sich vor dem Blitze zu schützen, ist die Hauptregel die, daß man die Nähe guter Leiter der Elektrizität, Erhitzung des Körpers und mit Rauch und Dunst angefüllte Orte, im Freien außerdem noch die Nähe aller höheren Gegenstände meidet. — Das Feuer in den Küchen während eines nahen und starken Gewitters auszulöschen, ist wegen des entstandenen Rauches sehr rathsam; daß Luftzug, der gewöhnlich vermieden wird, schädlich sei, ist durch Erfahrung widerlegt. Es ist anzurathen, vor dem Gewitter die Fenster zu öffnen, um durch den entstandenen Luftzug die Dünste zu entfernen, und während des Gewitters ein Fenster offen zu lassen, um im Falle des Einschlagens die schädliche starke Komprimirung der Stubenluft zu verhindern. Das Läuten der Glocken ist durchaus unnütz, da (um, was Sache des Aberglaubens ist, nicht zu erwähnen) die durch die bewegten Glocken bewirkte Luftbewegung viel zu unbedeutend ist, Gewitterwolken zu entfernen, was bis jetzt nur durch Abfeuerung von Kanonen sehr unvollkommen gelungen ist; auch ist für die, welche die Glocken ziehen, offenbar Gefahr vorhanden, wie es denn in der That oft vorgekommen ist, daß Menschen, die das Läuten besorgten, aus leicht einzusehenden Gründen, vom Blitze erschlagen worden sind. Die metallische Leitung des Blitzableiters darf nicht unterbrochen werden. Richmann in Petersburg, welcher zur Untersuchung der Elektrizität die Drähte unterbrochen hatte, wurde durch einen an dem Leiter herunterfahrenden Wetterstrahl (6. August 1753) getödtet. — Blitzröhren entstehen, wenn der Blitz in sandigen, oder andere schmelzbare Stoffe enthaltenden Boden einschlägt. — Luftelektroskope, Luftelektrometer.

2) Das **Wetterleuchten** ist auch elektrischer Natur, und zwar entweder ein ruhiges Ausströmen der Elektrizität überladener Wolken, vergleichbar dem Ausströmen der Elektrizität überladener Konduktoren, oder eine Beleuchtung der Wolken durch den Blitz eines unter unserem Horizonte stattfindenden Gewitters, von welchem, der großen Entfernung wegen, der Donner nicht bis zu uns gelangen kann, oder endlich vielleicht auch ein Gewitter in hohen Regionen der Atmosphäre, wo der Donner wegen der sehr dünnen Luft so schwach ist, daß er bei uns nicht hörbar werden kann (§ 144, 4).

3) Die **Wetterlichter** sind elektrische Lufterscheinungen, welche sich vor und während der Gewitter an den Spitzen der Thurmkreuze, der Blitzableiter, der Schiffsmasten, an den Ohren von Pferden, selbst oft an Menschen, welche während eines Gewitters im Freien sind, besonders an den Haaren als leuchtende Strahlenbüschel zeigen. Sie erinnern an das Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen, und sie mögen wohl ein solches Ausströmen der Erdelektrizität nach der entgegengesetzten Luftelektrizität sein.

Kastor und Pollux — St. Helenenfeuer. — St. Elmsfeuer.

4) Die **Wasserhosen** oder Wassertromben sind Gewitterwolken, welche sich in Spitzen auf das Meer herablassen und das Wasser in hohen Säulen heraufziehen, die sich mit Schrecken erregendem Zischen und Brausen fortbewegen und Alles, worauf sie stoßen, vernichten.

Landhosen oder Erdtromben (§ 192, II. 3).

5) Die Polarlichter, Nordlicht und Südlicht, sind in den Polargegenden sehr häufig, in geringern Breiten weniger, oft meistens im Winter vorkommende, theils in großen, theils in geringen Höhen der Atmosphäre stattfindende farbige Lichterscheinungen, die oft den halben Himmel einnehmen, und wenn sie auch zuweilen stundenlang dauern, doch in Lichtstärke und Farbenglanz sich beständig ändern. Da die Magnetnadel vor und während eines Polarlichtes in Unruhe geräth, ferner eine durch Helligkeit und Glanz ausgezeichnete Stelle, die Krone, welche als der Hauptpunkt der Erscheinung angenommen werden muß, im magnetischen Meridian liegt und auf welche die freischwebende Inklinationsnadel hinweist; da endlich sich die Polarlichter in der Nähe der magnetischen Pole der Erde häufig zeigen, so muß man nach dem gegenwärtigen Stande der Physik annehmen, daß sie elektrischer, wahrscheinlich magnetoelektrischer Natur sind. A. v. Humbold nennt sie ein magnetisches Ungewitter.

II. Kontaktelektrizität.

A. Fundamentalversuche.

212. 1) Wenn zwei isolirte verschiedenartige Metalle mit einander in Berührung kommen, und darauf getrennt werden, so zeigt das eine freie +, das andere freie — E. Das läßt sich mittelst recht eben geschliffener, kreisrunder Scheiben aus Zink und Kupfer, oder noch besser aus Zink und Silber, welche mit gläsernen Handhaben versehen sind, zeigen; das Zink erhält durch die Berührung +, das Kupfer — E, wie man sich mittelst eines Kondensators und eines Elektrometers nach § 210 überzeugen kann. Bei trockener Luft reichen 10 bis 12 Berührungen schon zu, eine recht sichtbare Divergenz der Goldblättchen zu bewirken; dabei muß man aber nicht vergessen, nach der wechselseitigen Berührung der beiden Scheiben diejenige, welche mit dem Kondensator nicht in Berührung gebracht wird, immer ableitend zu berühren. Dieser Versuch heißt der Volta'sche Fundamentalversuch, so wie das dabei gebrauchte Plattenpaar das Volta'sche Plattenpaar. Alle durch Berührungselektrizität erzeugten Erscheinungen heißen Galvani'sche, weil Galvani (1790) die ersten Erscheinungen der Art entdeckte, oder Volta'sche, weil Volta (1795) zuerst erkannte, daß durch Berührung Elektrizität entsteht, und so wird denn auch der Inbegriff aller durch Berührungselektrizität hervorgebrachten Erscheinungen Galvanismus, Voltaismus, auch wohl Galvano-Voltaismus genannt.

2) Durch Untersuchung der festen Körper in Bezug auf die durch ihre wechselseitige Berührung entstehende Elektrizität ist die sogenannte

elektrische Spannungsreihe entstanden. Es werden darin die Körper in einer solchen Reihe angegeben, daß jeder mit dem nächstfolgenden durch Berührung positiv und dieser negativ elektrisch wird, und zwar werden sie desto stärker elektrisch, je entfernter sie in dieser Reihe von einander stehen, weshalb auch in ihren Endgliedern die stärkste elektrische Spannung stattfindet. Diese Spannungsreihe ist nach Poggendorf folgende: (+) Zink, Kadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Uran, Messing, Kupfer, Kupfernickel, Magneteisenstein, Kobalt, Wismuth, Spießglanz, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel, Quecksilber, Schwefelkies, Tellur, Gold, Bleiglanz, Platin, Kohle, Graphit, Braunstein (—).

3) Daß auch durch Berührung fester und flüssiger Körper Elektrizität entsteht, ist leicht zu beweisen, denn ein Zink- oder Kupferstäbchen in eine verdünnte Säure zum Theil gesteckt, zeigt sich am hervorragenden Theile, mittelst des Elektrometers geprüft, negativ elektrisch. Pfaff's Versuche geben das Resultat, daß alle Metalle in Wasser wie in saure und alkalische Flüssigkeiten einzeln getaucht, negativ elektrisch werden, die Flüssigkeiten dagegen positiv, einige stark, andere schwach; so ordnen sich z. B. in verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure die bekanntesten Metalle, von demjenigen, welches am stärksten negativ elektrisch wird, anfangend, so: Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Platin — eine Reihe, welche mit der in (2) angeführten elektrischen Spannungsreihe insofern im Zusammenhange steht, als hier ein Metall desto stärker negativ elektrisch wird, je näher es dort dem positiven Ende ist, und desto schwächer negativ elektrisch wird, je näher es dort dem negativen Ende steht. — Auch heterogene Flüssigkeiten werden durch wechselseitige Berührung elektrisch, wiewohl nur in einem sehr schwachen Grade.

Aloysius Galvani, Arzt und Professor der Anatomie zu Bologna 1737 bis 1798. — Galvani's Experiment mit dem Froschpräparat. — Alexander Volta, geb. 1745 zu Kumo, später in Pavia Professor der Physik, starb 1827. Man denkt sich die Elektrizitätserregung beim Volta'schen Fundamentalversuche gewöhnlich so: Vor der Berührung sind beide Metalle im Zustande des elektrischen Gleichgewichtes (±E), d. h. jedes Metall hat an jeder Stelle beide Elektrizitäten in wechselseitiger Beschäftigung oder im gebundenen Zustande. Die Berührung hebt das Gleichgewicht auf, macht die Elektrizitäten frei, die +E des Kupfers strömt nach dem Zink und vereinigt sich mit dessen +E, während die −E des Zinks nach dem Kupfer strömt und sich mit dessen −E vereinigt; man nimmt also hiernach einen Strom positiver Elektrizität vom negativen Metalle nach dem positiven, und einen Strom negativer Elektrizität vom positiven Metalle nach dem negativen an.

213. Man theilt hier die Leiter der Elektrizitäten ein in Leiter der ersten Klasse oder des ersten Ranges, und in Leiter der zweiten Klasse oder des zweiten Ranges. Beide haben das gemeinschaftlich, daß sie Elektrizität leiten, wie schon ihr Name sagt, unterscheiden sich aber dadurch, daß jene geeigneter sind, aus sich durch Berührung Elektrizität zu entwickeln, als diese. Zu jenen

gehören die festen Leiter, insbesondere die Metalle und die Holzkohle, zu diesen die Flüssigkeiten, besonders Säuren, Salzauflösungen, Alkalien in Wasser aufgelöset und das Wasser. Weil die Kontaktelektrizität nur durch Leiter erregt wird, heißen diese auch Erreger (Elektromotoren) und zwar die festen Erreger der ersten, die flüssigen Erreger der zweiten Klasse.

B. Dreigliedrige einfache Ketten und aus ihnen gebildete Batterien.

214. Verbindet man zwei Erreger der ersten Klasse mit einem der zweiten als Zwischenkörper, am besten zwei Metalle mit einer Flüssigkeit, so entsteht die gewöhnliche einfache Volta'sche Kette. Die Wirksamkeit der Kette hängt ab sowohl von der Verschiedenheit der Metalle, besonders von ihrer Entfernung von einander in der Spannungsreihe (§ 212, 2), als auch von der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit und ihrem sonstigen chemischen Verhalten zu den Metallen. Die gewöhnlichsten Erreger sind Zink und Kupfer; eine Salzauflösung, wozu sich Salmiak am besten eignet, ist besser, als bloßes Wasser, noch besser mit einer Säure, z. B. Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, versetztes Wasser. Eine einfache Volta'sche Kette heißt geschlossen, wenn die beiden Metalle durch einen Metalldraht verbunden werden, oder sich selbst unmittelbar an einer Stelle außerhalb der Flüssigkeiten berühren; jede nicht geschlossene Kette heißt eine offene. Die Bilder dieser beiden Ketten sind:

$$\overset{\frown}{kfz} \text{ und } kfz.$$

Bei der offenen Kette sind die Metalle nur mit der Flüssigkeit, bei der geschlossenen aber mit der Flüssigkeit und durch den Leitungsdraht auch mit einander in Verbindung, daher muß in letzterer die Elektrizität nicht blos vom Kontakte der Metalle mit einander, sondern auch mit der Flüssigkeit abgeleitet werden. Nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise strömt auch hier, wie beim Volta'schen Fundamentalversuche, die positive Elektrizität vom Kupfer (k) durch den Leitungsdraht nach dem Zink (z) und von diesem durch die Feuchtigkeit (f) nach dem Kupfer u. s. w. Alle Wirkungen der einfachen Volta'schen Ketten treten bedeutend stärker bei der aus mehreren solchen Ketten gebildeten Volta'schen Säule oder Batterie.

Ein Zinkstäbchen in verdünnte Schwefelsäure zum Theil gesteckt oder eine Zinkplatte mit in verdünnter Schwefelsäure befeuchtetem Tuchläppchen bedeckt, zeigt sich negativ elektrisch, eben so ein Kupferstäbchen oder eine Kupferplatte, nur weit schwächer negativ elektrisch; wird aber ein Zinkstäbchen neben einem Kupferstäbchen in verdünnte Schwefelsäure gesteckt, oder zwischen eine Zink- und eine Kupferplatte ein befeuchtetes Tuchläppchen gelegt, so zeigt sich zwar das Zinkstäbchen und die Zinkplatte auch jetzt negativ elektrisch, aber das Kupferstäbchen und die Kupferplatte positiv elektrisch. Es ist, wie wenn die durch das Zink hervorgebrachte starke positive Elektrizität der Flüssigkeit die bei weitem schwächere negative des Kupfers vernichtete und dasselbe nur als Leiter benutzte. Wird nun die Kette geschlossen, so kann man auch bei der Annahme, daß die Elektrizität blos von dem Kontakt der Metalle mit der Flüssigkeit her-

komme, die Vorstellung festhalten, daß die positive Elektrizität vom Kupfer durch den Leitungsdraht nach dem Zink ströme, im Innern der Kette also vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer. In der That aber findet in der geschlossenen einfachen Kette eine dreifache elektromotorische Erregung statt, nämlich zwischen Kupfer und Zink, zwischen Kupfer und Flüssigkeit, endlich zwischen Zink und Flüssigkeit. Je zwei Bestandtheile der geschlossenen Kette bringen durch ihren Kontakt Elektrizität hervor, für welche der dritte Bestandtheil nur die Rolle eines Leiters hat. Die Elektrizitätserregung zwischen Zink und Flüssigkeit ist wohl die stärkste, zwischen Zink und Kupfer schwächer, zwischen Kupfer und Flüssigkeit aber am schwächsten. Die Richtungen der elektrischen Strömungen der ersten beiden Paare fallen zusammen (von k durch den Draht nach z u. s. w. und von z nach f u. s. w.), was eine wechselseitige Verstärkung der Elektrizität giebt, während die Richtung des Stromes vom dritten Paare jener gemeinschaftlichen Richtung entgegengesetzt ist (von k nach f u. s. w.) und deshalb eine geringe Schwächung der vereinigten Elektrizitäten hervorbringt; als Resultat dieser drei Ströme bleibt mithin ein Strom positiver Elektrizität übrig, welcher im Innern der Kette sich vom Zink durch die Flüssigkeit nach dem Kupfer, außerhalb derselben daher vom Kupfer durch den Verbindungsdraht nach dem Zink bewegt. — Die Kontakttheorie leitet die Elektrizität ab von dem Kontakt der Metalle unter einander und mit der Flüssigkeit; nach der chemischen Theorie entsteht die Elektrizität in der Flüssigkeit, indem die Metalle durch ihre chemische Verwandtschaft zu ihr eine Zersetzung derselben bewirken. Gewiß ist's, daß mit der Zunahme des chemischen Prozesses auch die Stärke der Elektrizität zunimmt, wobei beide Metalle verändert werden, so daß das mehr angegriffene immer das positiv, das weniger angegriffene das negativ elektrische ist. Pfaff, Fechner — Faraday, de la Rive — Karsten — Pohl.

Einfache galvanische Ketten sind z. B. eine Zinkplatte und eine Kupferplatte mit dazwischen gelegtem feuchten Tuchläppchen; ein Kupfer- und ein Zinkplättchen, oder ein Bleistreifen und ein silberner Kaffeelöffel bewirken, wenn zwischen sie die Zunge gelegt wird, und sie sich an den freien Enden berühren, einen eigenen Geschmack im Augenblicke der Berührung, am Zink oder Blei einen säuerlichen, am Kupfer oder Silber aber einen laugenhaften; ein Zinkstäbchen auf das linke Zahnfleisch der oberen Zahnreihe, und ein Kupferstäbchen auf das rechte auch oben oder an die Stirn über das rechte Auge, desgleichen in den inneren Augenwinkel gelegt und äußerlich in Berührung gebracht, oder auch ein Bleistreifen und ein silberner Kaffeelöffel auf diese Art gebraucht, bewirken im Augenblicke der Berührung eine Lichterscheinung; ein Kupferstäbchen und ein Zinkstäbchen so in ein Wasser enthaltendes Gefäß gestellt, daß sie sich von außen berühren, bewirken eine Gasentwickelung; wird auf den Boden eines Salzsäure enthaltenden Glases ein Goldstück gelegt, und dieses mit einem Zinkstäbchen berührt, so steigt Wasserstoffgas in großen Luftblasen in die Höhe; wenn an den Nerven eines entblößten Froschschenkels ein Zinkstäbchen, an den Muskel ein Silberstäbchen angelegt wird, so entstehen im Augenblicke der Berührung der andern Enden der Stäbchen Zuckungen im Froschschenkel. Galvani machte die erste Beobachtung an Froschschenkeln. Wollaston's Plattenpaar. Oersted's Trogapparat und Hare's Deflagrator oder Kalorimotor mit spiralförmig gewundenen Platten sind auch einfache Ketten, aber von so kräftiger Elektrizitätsentwickelung, daß besonders mittelst des letzteren ein dünner Platindraht, welcher die Kette schließt, sogleich glühend wird.

215. 1) Die Galvani'sche oder richtiger die Volta'sche Säule oder Batterie, eine Verbindung vieler einfacher galvanischer Ketten und deshalb auch eine zusammengesetzte Kette genannt, ist ein Instrument, durch welches Berührungselektrizität in bedeutender Menge erzeugt werden kann. Sie besteht aus 20, 50, 100 und

noch mehreren Plattenpaaren, meist aus Zink und Kupfer, die immer in derselben Ordnung in besonderen, gewöhnlich hölzernen Gestellen über oder neben einander gelegt und von einander durch in eine Flüssigkeit, gewöhnlich Salzwasser, getauchte Tuchscheiben getrennt werden. Die Volta'sche Säule wird so aufgebaut:

k z f k z f . . . . . . f k z, oder
z k f z k f . . . . . . f z k,

wobei k Kupfer, z Zink, f feuchte Tuchläppchen bedeutet.

Die Endplatten der Säule heißen Pole, und zwar der eine Zinkpol, der andere Kupferpol, oder auch jener der positive, dieser der negative Pol, weil im Volta'schen Fundamentalversuche das Zink durch Berührung +, das Kupfer aber — E erhält, oder weil der Zinkpol immer +, der Kupferpol — E zeigt; auch wird jener der Oxygen- oder Sauerstoffpol, dieser der Hydrogen- oder Wasserstoffpol genannt, weil bei der Zersetzung des Wassers durch die Volta'sche Säule sich das Sauerstoffgas des Wassers am Zinkpole, das Wasserstoffgas, als der andere Bestandtheil des Wassers, aber am Kupferpole ansammelt.

Der Entdecker dieser Säule ist Volta, 1800. Davy's größte Batterie bestand aus 2000 Doppelplatten. Children's Batterie bestand nur aus 20 Plattenpaaren aus Kupfer und Zink, die in Salpetersäure eingetaucht wurden; aber jede Platte war 6 Fuß lang und 2 Fuß 8 Zoll breit. Säulen-, Becher- und Trog- oder Zellenapparat.

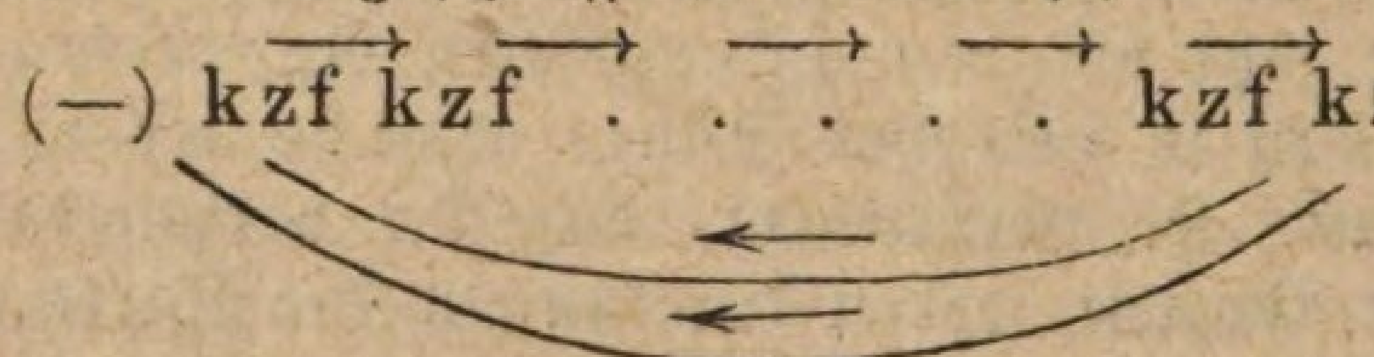
Die Batterien aus Gußeisen und Zink wirken kräftig; an jedem gußeisernen Gefäße ist ein gebogener Kupferdraht angelöthet, welcher an dem andern Ende einen amalgamirten, im nächsten Gefäße in dessen Mitte frei herabhängenden und in verdünnte Schwefelsäure eintauchenden Zinkzylinder trägt. — Die Amalgamation des käuflichen, mit Zinn, Blei und Eisen verunreinigten Zinks, welche jetzt bei den galvanischen Apparaten allgemein vorgenommen wird, macht, daß es von der Säure eben so wenig angegriffen wird als das ganz reine Zink; sie verhindert, daß die verschiedenen Metalle nicht unter sich Ketten bilden können, deren Wirkungen die Wirkung der eigentlichen Kette schwächen.

2) Auch die Volta'sche Säule kann, wie die einfache Kette, geschlossen oder ungeschlossen (offen) sein, je nachdem ihre beiden Pole durch einen Leiter, in den meisten Fällen durch einen Metalldraht, dessen Zusammenhang auch durch einen andern Leiter unterbrochen sein kann, verbunden sind oder nicht. Es ist in Hinsicht des elektrischen Zustandes der Säule nicht gleich, ob sie isolirt oder nicht isolirt ist. Ist sie isolirt, so hat sie in der Mitte einen Indifferenzpunkt, d. h. eine Stelle, die gar keine Elektrizität besitzt. Von diesem Punkte an aber nimmt die freie Elektrizität nach beiden Enden in arithmetischer Progression zu, und zwar die + E nach dem Zinkpole, die — E nach dem Kupferpole zu. Ist aber der eine Pol mit der Erde in leitender Verbindung, so zeigt dieser Pol keine Elektrizität, die dem andern Pole zukommende Elektrizität wächst dagegen von hier bis zu diesem zweiten Pole durch die ganze Säule in arithmetischer

Progression und erreicht eine doppelt so große Intensität, als im isolirten Zustande der Säule. Wenn die Säule geschlossen wird, so wird sie **entladen**, indem, wie wir uns vorstellen, die positive Elektrizität durch den Leitungsdraht vom Zinkpole nach dem Kupferpole und in der Säule selbst, diese Richtung verfolgend, vom Kupferpole nach dem Zinkpole strömt, während die negative Elektrizität die entgegengesetzte Richtung nimmt. (§ 212.)

Diese Entladung dauert ununterbrochen so lange fort, als die Schließung der Säule selbst, da ja die Erzeugung der Elektrizität in der Säule oder die Ladung derselben auch nicht unterbrochen wird; doch sind die Wirkungen gleich nach der Zusammensetzung und ersten Schließung der Kette am kräftigsten, nehmen dann aber allmählig ab (§ 218, 4). Die Säule zeigt nur im Zustande des Nichtgeschlossenseins ihre freie Elektrizität und wirkt also nur dann auf das Elektroskop; sobald sie geschlossen wird, verliert sie alle Aeußerung freier Elektrizität nach außen, wirkt dann aber chemisch, sowohl zersetzend als zusammensetzend, Licht, Wärme, Magnetismus erzeugend u. s. w., und das ist gerade die Hauptseite der Volta'schen Säule. Die Metalldrähte, deren man sich zur Schließung der Säule bedient, sind an die Pole angebracht und heißen **Poldrähte**, und zwar wird der am positiven Pole auch der positive, so wie der am negativen Pole auch der negative Poldraht oder Leitungsdraht genannt; jener empfängt die positive Elektrizität der Säule, dieser die negative, daher findet, so oft man sie mit einander in Berührung bringt, eine Vereinigung der in der Säule ohne Unterbrechung sich entwickelnden entgegengesetzten Elektrizitäten statt.

Nimmt man in der geschlossenen Volta'schen Säule



die äußersten Metallplatten weg, hier links k und rechts z, und verbindet durch den Draht die nunmehrige linke Endplatte z mit der nunmehrigen rechten Endplatte k, so bleibt noch immer links der negative Pol, obwohl Zink da liegt, und rechts der positive, obwohl Kupfer da liegt, denn die Aufhebung der Berührung der beiden Metallplatten an den Enden der Säule bringt nur eine verschwindend kleine Schwächung der Elektrizität hervor und verwandelt die übriggebliebenen einzelnen Platten an den Enden der Säule in bloße Leiter, bringt aber keine wesentliche Aenderung in der Elektrizitätserregung hervor.

3) Die Wirksamkeit der Säule hängt im Allgemeinen, wie die der einfachen Kette, ab von der Entfernung der beiden Metalle in der Spannungsreihe (§ 212, 2) und von der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit, so daß in Bezug auf die letztere, z. B. eine Salzauflösung besser als Wasser, und eine Mischung aus Wasser und einer Säure, Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, besser als eine Salzauflösung wirkt. Außerdem sind auch Größe und Anzahl der Plattenpaare von

besonderem Einflusse, aber in der Art, daß einige Erscheinungen, wie die Wirkung auf das Elektrometer und die Erschütterung an Stärke mit der Anzahl, andere dagegen, das Erwärmen, Oxydiren, Verbrennen der Metalle, und die die Körper zersetzende Kraft mit der Größe der Plattenpaare zunimmt.

Von der Größe der Platten scheint die Quantität, von ihrer Anzahl die Intensität der entwickelten Elektrizität abzuhängen. — Die Stärke des elektrischen Stromes in der Säule wächst mit der Anzahl der Elemente, aber ihre Wirkung steht zugleich im umgekehrten Verhältnisse der Summe der Widerstände, welche sich ihm entgegenstellen. Heißt der von jedem einzelnen Elemente und seiner Flüssigkeit herrührende Widerstand e, der von dem Schließungsdrahte, mit seiner Länge im geraden und mit seinem Querdurchschnitte im umgekehrten Verhältnisse wachsende p, der an den Uebergangsorten von den Drähten zu dazwischengebrachten festen oder flüssigen Körpern stattfindende u und endlich der von diesem dazwischengebrachten Körper ausgeübte k, so ist die Wirkung der Säule, wenn E die erregende Kraft eines jeden der n Elemente derselben bezeichnet, proportional folgendem, das Ohm'sche Gesetz enthaltenden Ausdrucke

$$\frac{nE}{ne+p+u+k},$$

welcher für einen sehr kleinen Werth der Summe $p+u+k$, welche Summe den Gesammtwiderstand im Schließungsbogen angiebt, in $\frac{E}{e}$ übergeht, und welcher auch deutlich zeigt, daß bei einem konstanten Werthe dieser Summe die Wirkung der Säule mit der Vermehrung der Elemente nur wenig zunehmen kann.

Ein kurzer und dicker Leitungsdraht leitet besser, als ein langer und dünner, und dabei ist Kupfer und Silber den andern Metallen vorzuziehen, denn wenn die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit 100 bezeichnet wird, ist nach Rieß die des Silbers 149, des Goldes 89, des Messings 28, des Eisens 18, des Platins 16, des Neusilbers 11, des Bleies 10.

216. Außer den in § 215 betrachteten Säulen, welche wie die in § 217 vorkommenden neueren wegen der dabei gebrauchten Flüssigkeit nasse oder hydroelektrische Säulen oder Batterien genannt werden, gehören zu den älteren Säulen auch die trockene Säule und Ritter's Ladungssäule. Die trockenen Säulen sind drei- oder zweigliedrig. Die dreigliedrigen bestehen aus zwei Erregern, wie Kupfer und Zink, und einem Halbleiter oder nicht leitenden Zwischenkörper, wie Stärke, Papier, Glas oder Harz. Diese Säulen laden sich, wie die Volta'schen, von selbst, nur langsamer und schwächer (doch die mit dem Halbleiter als Zwischenkörper schneller, als die mit dem Nichtleiter), und unterscheiden sich von diesen dadurch, daß sie die chemische Wirkung und die Kraft, Metalle zu verbrennen, nicht besitzen. Zamboni, Professor der Physik zu Verona, hat dreigliedrige Säulen aufgebaut aus 2000—4000 Papierscheiben von 2 Zoll Durchmesser, deren eine Seite vergoldet oder versilbert, die andere aber mit pulverisirtem Manganoxyde überstreut war. Seine zweigliedrige Säule bestand aus Scheiben von Gold- oder Silberpapier, so übereinander gelegt, daß die Metallflächen stets nach derselben Gegend zu lagen. — Perpetuum mobile.

Bohnenberger's Elektrometer enthält zwei so aufgestellte Zamboni'sche Säulen, daß oben, und deshalb auch unten, entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen; ein dazwischen hängendes und mit der Basis des darüber sich befindenden Kondensators oder auch nur mit einem Metallkügelchen in leitender Verbindung stehendes Goldplättchen zeigt positive Elektrizität an durch seine Bewegung zum negativen, negative Elektrizität aber durch seine Bewegung zum positiven Pole. Elektrometer mit nur einer Zamboni'schen Säule. — Weil bei den andern Säulen die Metalle durch chemische Veränderung (§ 218, 4) mit der Zeit unwirksam werden, hat man versucht durch trockene Säulen andauernde Wirkung zu erzielen.

Ritter's Ladungssäule endlich besteht aus festen Erregern derselben Art, Kupferplatten, und feuchten Pappscheiben als Zwischenkörper. Sie ladet sich nicht von selbst, wie die Volta'sche und trockene Säule, sondern muß erst durch eine Volta'sche Säule, wie eine Leidener Flasche, geladen werden.

C. Viergliedrige einfache Ketten und aus ihnen gebildete Batterien.

217. 1) Den älteren, aus zwei festen heterogenen Elektromotoren und einer Flüssigkeit bestehenden Ketten werden die neueren, aus zwei heterogenen festen Elektromotoren und zwei heterogenen Flüssigkeiten vorgezogen, weil sie nicht nur kräftiger, sondern an Stärke auch stundenlang sich gleichbleibend wirken, während bei jenen die anfänglich starke Wirkung schnell abnimmt. Von solchen Ketten von konstanter Wirkung sind besonders zu nennen die Ketten von Jakobi, Daniell, Grove und Bunsen. — Bei der Jakobi'schen Kette werden gebraucht Zink, Kupfer und etwa eine Salmiakauflösung und Kupfervitriollösung (schwefelsaure Kupferoxydlösung). In einem kupfernen Zylinder befindet sich ein hölzerner oder thönerner Hohlzylinder, unten mit ausgespannter Rindsblase geschlossen und auf Glasstäbchen ruhend, und in diesem eine auch auf solchen Stäbchen ruhende und oben mit Siegellack überzogene Zinkplatte; in den hölzernen oder thönernen Zylinder gießt man die Salmiakauflösung, in den kupfernen die Kupfervitriollösung. — Die Daniell'sche Kette, welche aus Zink, verdünnter Schwefelsäure und einer Kupfervitriollösung besteht, wird gewöhnlich so zusammengestellt, daß in eine Glaskrause ein hohler Kupferzylinder, in diesen ein gebrannter Thonzylinder (oder auch ein Zylinder aus dickem braunen Packpapier) und in diesen endlich ein massiver, amalgamirter Zinkzylinder zweckmäßig gestellt wird; zur inneren Flüssigkeit nimmt man die verdünnte Schwefelsäure, zur äußeren die Kupfervitriollösung. — Die Grove'sche Kette oder die Zinkplatinakette, welche an Wirksamkeit alle übrigen Ketten übertrifft, besteht aus amalgamirtem Zink, einem Platinablech, verdünnter Schwefelsäure und aus Salpetersäure. Sie wird wie die Daniell'sche Kette aufgebaut. In eine Glaskrause oder in einen Trog aus Thon oder Holz wird ein Hohlzylinder aus Zink, in diesen ein Thonzylinder, in diesen wieder das Platinablech, gewöhnlich aus mehreren um eine gemeinschaftliche Achse angebrachten Blättern bestehend, gestellt;

die Salpetersäure wird in den Thonzylinder, die sehr verdünnte Schwefelsäure in die Glaskrause gegossen. Bei jeder dieser Ketten sind die beiden heterogenen Metalle mit Quecksilbernäpfchen oder mit Klemmschrauben versehen.

In Bunsen's Zinkkohlenkette nimmt die Kohle die Stelle des kostbaren Platina in der Grove'schen Kette ein. In ein zylindrisches Glasgefäß wird ein hohler Zinkzylinder und in diesen ein in seiner unteren Hälfte massiver, in seiner oberen Hälfte dagegen hohler Kohlenzylinder gestellt; die Höhlung des Kohlenzylinders nimmt die mit kalkfreiem Sande gemischte Salpetersäure oder Chromsäure, das Glas die verdünnte Schwefelsäure auf, oder man bringt innerhalb des hohlen Zinkzylinders eine zylindrische Thonzelle und in diese einen durchgängig hohlen Kohlenzylinder, wo dann die Salpetersäure in die Thonzelle gegossen wird. Auch kann die Zusammensetzung so geschehen, daß in das Glasgefäß zuerst ein längs seiner ganzen Länge hohler Kohlenzylinder, in diesen eine zylindrische Thonzelle und in diese endlich Zinkbleche oder Zinkstangen gebracht, und darauf zum Zink die verdünnte Schwefelsäure, zur Kohle die Salpetersäure gegossen wird. Um den Kohlenzylinder ist ein genau anschließender Metallring gelegt, um die Verbindung der beiden heterogenen festen Körper mittelst Metallstreifen und Klemmschrauben leicht bewirken zu können. — Zu den viergliedrigen Ketten gehört auch Schönbein's Kette aus bloßem Eisen oder die Kette aus aktivem und passivem Eisen, welche sich darauf gründet, daß Eisen unter gewissen Verhältnissen wie Platina oder Kupfer wirkt, sich also dann gegen gewöhnliches Eisen negativ elektrisch zeigt. — Weber und Wöhler haben solche aus einem homogenen Metalle und zwei heterogenen Flüssigkeiten bestehende Ketten zusammengesetzt, indem sie Eisen einerseits in Schwefelsäure, andererseits in konzentrirte Salpetersäure eintauchten, so wie Becquerel durch Eintauchen des Platina einerseits in Aetzkalilauge, andererseits in konzentrirte Salpetersäure.

2) Aus einfachen Ketten von konstanter Wirkung werden Batterien von konstanter Wirkung zusammengesetzt, es giebt daher z. B. eine Grove'sche oder Zinkplatinabatterie, eine Bunsen'sche oder Zinkkohlenbatterie, eine Schönbein'sche oder Eisenbatterie. Einfache Ketten können aber mit einander so verbunden werden, daß sie eine Batterie oder eine vergrößerte einfache Kette darstellen. Im ersten Falle muß immer das positive Metall jeder Kette mit dem negativen Metalle der nächsten leitend verbunden werden; im zweiten muß man alle positiven Metalle mit einander und eben so alle negativen mit einander in leitende Verbindung setzen.

Auch bei konstanten Batterien ist die Bestimmung der Pole und der Stromrichtung der Elektrizität nicht schwer. Wenn auch z. B. bei der Grove'schen Kette das Zink das positive, das Platina das negative Metall ist, so ist doch deshalb das Zink der einen Endkrause einer aus solchen Ketten gebildeten

Batterie nicht der positive, sondern der negative, und das Platina der andern Endkrause nicht der negative, sondern der positive Pol. In der geschlossenen einfachen Kette strömt auch hier nach § 214 die positive Elektrizität durch den Verbindungsdraht von dem das Kupfer vertretenden Platina nach dem Zink u. s. w.; in der geschlossenen Batterie strömt diese Elektrizität in jedem einzelnen Verbindungsdrahte vom Platina jeder Krause zum Zink der nächstfolgenden, also in jeder einzelnen Krause vom Zink durch die Flüssigkeit zum eigenen Platina, und so muß das Platina der letzten Krause die positive Elektrizität dem Schließungsdrahte abgeben, wodurch es also positiver Pol der Säule wird, und mithin ist das Zink der zweiten Endkrause, welchem der Draht die positive Elektrizität zuführt, der negative Pol, wie in § 215, 2.

218. Die verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes, welche man durch unzählige Versuche mit geschlossenen und nicht geschlossenen einfachen Ketten und Batterien gefunden hat, sind höchst mannichfaltig. Bei nicht geschlossenen Batterien kann man nur Bewegungserscheinungen beobachten, bei den geschlossenen dagegen viele Erscheinungen theils physikalischer Natur, insofern Licht, Wärme und Magnetismus erzeugt werden, theils chemischer Natur, insofern Zersetzungen und Zusammensetzungen von Körpern stattfinden, theils endlich physiologischer Natur, insofern Erschütterungen und Schläge im thierischen und menschlichen Körper hervorgebracht werden.

Zu den gewöhnlichsten Versuchen gehören folgende:

1) Mechanische oder dynamische Wirkungen. Anziehen und Abstoßen leichter isolirter Korkkügelchen; Anziehen und Abstoßen dünner Metallstreifen, je nachdem sie sich an den Enden beider Poldrähte, welche, durch Glasröhren gehend, gehörig einander genähert werden müssen, oder an einem und demselben Drahte befinden.

2) Lichterscheinungen. Berührt man mit einem isolirt gehaltenen, zugespitzten Poldrahte den andern oder dessen Pol, so sieht man einen lebhaften Funken, der bei größeren Batterien leicht brennbare Körper, wie Knallluft, Phosphor, Schwefel, Blattgold u. a. m. entzündet. Die Lebhaftigkeit der Funken wird vermehrt, wenn die Drahtenden amalgamirt sind; es verbrennt dabei immer ein Theil des Quecksilbers. Schöne Funken sieht man auch, wenn der eine Poldraht in Quecksilber, welches sich in einem Glase befindet, gesteckt, und mit dem andern, isolirt gehaltenen die Oberfläche des Quecksilbers berührt wird.

3) Wärmeerzeugung und thermische Wirkungen. Die Säule entwickelt Wärme, die so groß werden kann, daß durch sie Metalldrähte, mittelst deren die Pole verbunden werden, wenn sie die durch sie fortgeleitete Elektrizität aufzunehmen nicht stark genug sind, zum Glühen, ja zum Schmelzen gebracht werden können. Solche glühende Drähte erwärmen Wasser, durch welches sie gezogen sind, und bringen kleine Mengen von einer Salzauflösung zum Sieden. Children schmolz Iridium, Hare verbrannte Kohle mit dem Auge unerträglichem Lichte. — Kohlenlicht oder Siderallicht, mit welchem bei Anwendung einer Batterie von 185 Elementen 1849 Jakobi in Petersburg vom Admiralitätsthurme herab drei Stunden lang drei große Straßen aufs Hellste erleuchtete; ähnliche Beleuchtungen fanden in London, Paris ꝛc. statt, so wie im Kleinen in manchen Theatern (die Sonne im Propheten von Meyerbeer); auf einigen Leuchtthürmen an den englischen Küsten wird das Kohlenlicht angewendet. — Benutzung des glühenden Platinadrahtes zur Minensprengung unter Wasser, unter Eis, im Felsen (Dover, 1842). — Davy schmolz Quarz und Kalk. Wollaston's Fingerhutapparat.

4) Chemische Wirkungen. Die große chemische Wirksamkeit der Volta'schen Säule beweisen unter andern: 1) die Zersetzung des Wassers in seine beiden Bestandtheile, Sauerstoff- und Wasserstoffgas, oder Oxygen- und Hydrogengas, und zwar in der Art, daß sich jenes am Drahte des Zinkpoles, dieses am Drahte des Kupferpoles in dem Zersetzungsapparate ansammelt. Hierbei ist nicht gleichgültig, aus welchem Metalle die Verbindungsdrähte sind; sind sie Gold- oder Platindrähte, so sammeln sich wirklich beide Gase an ihren Drähten an; sind sie aber Drähte aus Eisen oder Kupfer, überhaupt aus leicht oxydirbaren Metallen, d. h. solchen Metallen, die sich leicht mit Sauerstoff verbinden, so sammelt sich das Wasserstoffgas an, während das entstandene Sauerstoffgas das Metall sogleich oxydirt. 2) Die Zersetzung der Erden, Alkalien (Davy 1807), Säuren und Salze, welche der letzte Abschnitt im Allgemeinen kennen lehrt.

Der positive Poldraht wirkt wie eine Säure, z. B. er färbt die Lakmustinktur roth; der negative wirkt dagegen wie ein Alkali, z. B. er färbt Veilchensaft grün, und der vom positiven Poldrahte gerötheten Lakmustinktur giebt er die ursprüngliche Farbe wieder. Siehe § 235.

Auch die Flüssigkeit zwischen den einzelnen Plattenpaaren erleidet eine Zersetzung; die Zinkplatten oxydiren daher und nehmen eine weiße Rinde an, während die Kupferplatten durch Schwefelwasserstoffgas geschwärzt werden, weshalb sie von Zeit zu Zeit mit nassem Sande gereinigt werden müssen. Dachplatten von Zink werden, wenn sie mit eisernen oder kupfernen Nägeln angeschlagen werden, leicht zerstört; es ist gut, dazu Nägel zu gebrauchen aus einer Komposition von Zink, Blei und Antimon. Um die kupfernen Schiffsbelege vor Rost und vor dadurch entstehender Zerstörung zu bewahren, werden nach Davy einige Zinkplatten oder Nägel aus Zink oder Eisen angebracht; hier wird Zink, Eisen, als das positiv elektrische Metall durch Oxydation allein verzehrt und kann wieder leicht ersetzt werden; eben so schützt man die englischen Nähnadeln und andere Stahlwaaren vor dem Roste, wenn man ein Stückchen Zink dazugelegt. —

Auf der chemischen Wirkung der Kette beruht die Vergoldung, Versilberung u. s. w. der Metalle auf nassem Wege und die Galvanoplastik (Elektrotypie — Jakobi — Spencer) oder das Verfahren, auf galvanischem Wege durch Niederschlagung des Kupfers aus Kupferauflösungen Medaillen, Münzen, Gypsabdrücke, Holzschnitte u. s. w. in Kupfer auf das Genaueste abzuformen. Wird in ein Gefäß verdünnte Schwefelsäure gegossen und in diese eine poröse Zelle mit gesättigter Kupfervitriollösung gebracht, sodann eine unter dem Boden der Zelle in der verdünnten Schwefelsäure sich befindende Zinkplatte durch einen Draht mit der über diesem Boden in der Kupferauflösung angebrachten Münze verbunden, so schlägt sich auf dieser das Kupfer in unendlich kleinen, so dicht an einander gefügten Krystallen nieder, daß dieser Kupferüberzug ein fest zusammenhängendes Ganze bildet, und nach mehreren Tagen abgenommen, statt der Münze gebraucht werden kann zu einem zweiten Kupferniederschlage, der das vollkommenste Abbild des Originals giebt. Statt die Münze selbst zu gebrauchen, kann man auch, wie es mit vielen andern Gegenständen durchaus geschehen muß, über sie eine Mischung aus Wachs und Gyps oder aus Wachs und Stearin gießen, dem abgelöseten vertieften Abdrucke durch Ueberpinselung mit Versilberungspulver eine reduzirende Oberfläche geben und ihn so in die Kupfervitriollösung bringen, wobei der eingesteckte Draht mit der versilberten Form durch das Versilberungspulver in leitende Verbindung gesetzt werden muß. Man kann auch die Münze oder deren Abdruck in ein besonderes Gefäß mit Kupfervitriollösung horizontal mit der abzubildenden Oberfläche nach oben, über sie ein Kupferblech anbringen, jene dann mit dem Zink und diese mit dem Kupfer oder dessen Stellvertreter verbinden. Es muß dabei immer die Schwefelsäure stark verdünnt sein, die

Kupfervitriollösung durch zweckmäßig hineingebrachte Stücke von Kupfervitriol gesättigt erhalten, und die Seite der Münze, in welcher sich kein Niederschlag bilden soll, so wie der Draht, so weit er in der Auflösung sich befindet, mit einer Wachsschichte überzogen werden. Benutzung der Galvanoplastik zur Erzeugung der Kupferdruckplatten, der Matrizen für Buchdrucktypen. Sogar von den Daguerreotypen (§ 179) kann man galvanoplastische Abdrücke nehmen und so mittelst Kupferdruck Daguerreotypbilder zu Tausenden naturgetreu vervielfältigen.

Derselbe Apparat ist zum Vergolden der Metalle, Silber, Messing, Eisen brauchbar, nur nimmt man statt der Kupfervitriollösung eine Auflösung von neutralem Goldchlorid. Der zu vergoldende Gegenstand kommt in diese Auflösung, das Zink in die verdünnte Schwefelsäure und beide werden mit einem Kupfer- oder Silberdraht mit einander verbunden. Auf ähnliche Weise lassen sich Metalle versilbern oder verplatiniren, wenn man sich einer Silberlösung oder Platinlösung statt der Goldlösung bedient. —

Faraday nennt die durch die Elektrizität zersetzbaren Stoffe Elektrolyte, ihre Bestandtheile Jonen, den Akt der Zersetzung Elektrolysirung. Die Pole der Schließungsdrähte, welche mit der zu elektrolysirenden Flüssigkeit in Verbindung sind, heißen Elektroden, von denen er den positiven Anode und den negativen Kathode nennt. Anion (negativ) heißt jedes Jon, welches sich zur Anode, dagegen Kation (positiv) jedes Jon, welches sich zur Kathode begiebt.

5) Physiologische Wirkungen. Berührt man den einen Pol mit der einen, den andern mit der andern Hand, so empfindet man im Augenblicke der Berührung eine elektrische Erschütterung, die aber weniger ein plötzlicher Stoß, wie bei der Leidener Flasche, sondern ein an Stärke abnehmendes Ziehen ist, welches so lange dauert, als die Verbindung stattfindet, und an Stärke zunimmt, wenn man die Entladung zuerst mit trockenen, dann mit befeuchteten Händen, und endlich mit in den befeuchteten Händen befindlichen Metallstücken bewirkt. Mehrere Personen, welche sich mit nassen Händen anfassend eine Kette bilden, können die Säule wie eine Leidener Flasche entladen. Laden einer Leidener Flasche, indem die innere Belegung mit dem einen, die äußere Belegung mit dem andern Pole leitend verbunden wird. — Berührt man den einen Pol mit der Zunge, den andern mit der Hand, so hat man eine Geschmacksempfindung, und zwar am positiven Pole eine säuerliche, am negativen eine laugenhafte. — Eine augenblickliche Lichterscheinung hat man bei der Entladung mittelst eines benetzten Theiles der Stirn und der Hand. — Volta empfand auch ein Geräusch, wenn er die Entladung durch die beiden Ohren leitete, ein Versuch, bei dem nur sehr schwache Säulen gebraucht werden dürfen. — Ein Blutegel auf eine Kupfermünze, die auf einer Zinkplatte ruht, gelegt, fährt wie erschrocken zurück, so oft er die letztere berührt. — Die Empfindlichkeit der Amphibien, Fische und Insekten nach dem Tode ist größer, als die der warmblütigen Thiere. — Versuche mit Gehängten. — Neef's Blitzrad wird zur Stromunterbrechung gebraucht, was auch schon weniger bequem durch eine gewöhnliche Feile geschehen kann.

6) Die Drähte, durch welche man einfache Ketten und Batterien schließt, werden magnetisch, was zuerst aus ihrer Einwirkung auf die Magnetnadel gefolgert wurde. Diese Entdeckung hat zu zahlreichen Resultaten geführt, von denen die vorzüglichsten in den folgenden Paragraphen abgehandelt werden.

D. Elektromagnetismus.

219. Der dänische Naturforscher Oersted entdeckte 1820, daß Metalldrähte magnetische Erscheinungen zeigen, so lange sie sich in der

Entladungskette der Volta'schen Säule befinden. Diese durch Elektrizität hervorgebrachten magnetischen Erscheinungen heißen elektromagnetische Erscheinungen, so wie der Inbegriff derselben Elektromagnetismus. Oersted's erster Versuch bestand darin, daß er über und unter die ruhende Magnetnadel den Schließungsdraht einer Volta'schen Säule horizontal zog, und dabei bemerkte, daß hierdurch die Magnetnadel aus ihrer natürlichen, ihr durch den Erdmagnetismus zugewiesenen Lage gebracht wurde, indem sie östlich oder westlich abwich, aus welcher magnetischen Einwirkung des Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel er den Magnetismus desselben folgerte. Bald wurde Oersted's Versuch vielfältig wiederholt und dadurch erweitert, daß dem Leitungsdrahte alle möglichen Lagen in Bezug auf die Magnetnadel gegeben wurden. Wir betrachten hier zunächst den horizontalen Verbindungsdraht in seinen vier Hauptlagen zu der ruhenden Magnetnadel, nämlich: genau über und unter ihr, in dem magnetischen Meridiane, und zu beiden Seiten der Magnetnadel genau in derselben Horizontalebene. Ist nun das Nordende des horizontalen Drahtes mit dem Kupferpole, das Südende mit dem Zinkpole der Volta'schen Säule leitend verbunden, so sind die Bewegungen der Magnetnadel folgende: Ist der Leitungsdraht

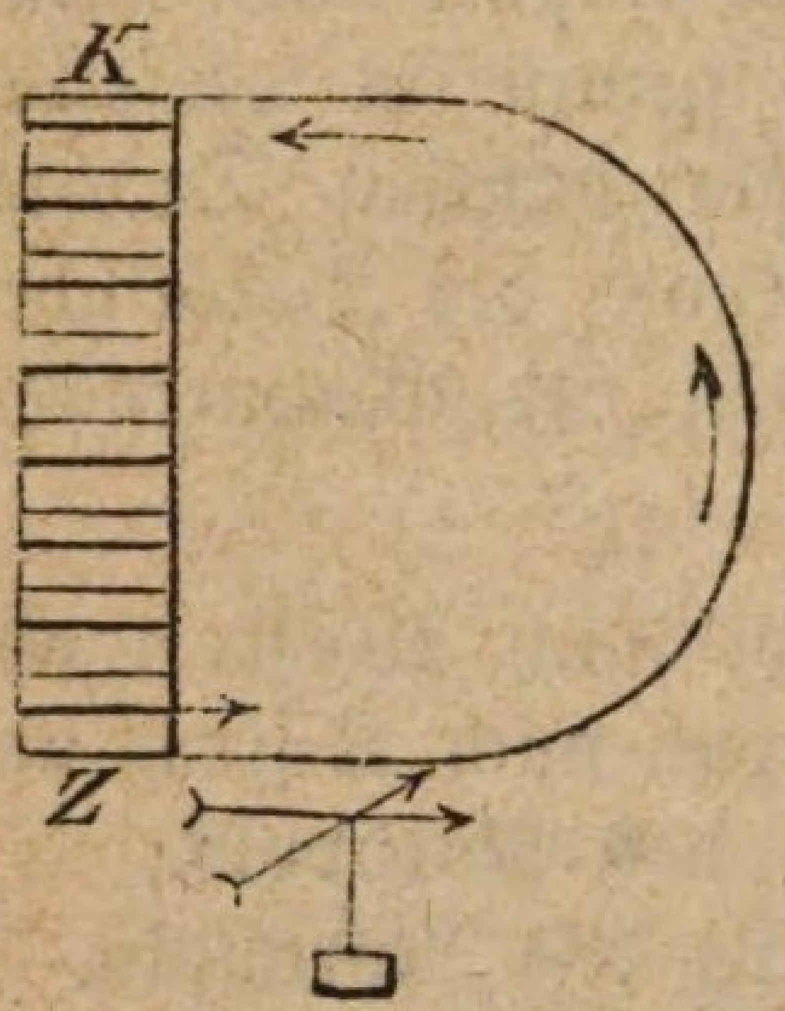
über der Magnetnadel, so weicht der Nordpol nach Westen ab;
unter der Magnetnadel, so weicht der Nordpol nach Osten ab;
auf der Ostseite, so erfolgt eine Hebung des Nordpols;
auf der Westseite, so erfolgt eine Senkung des Nordpols.

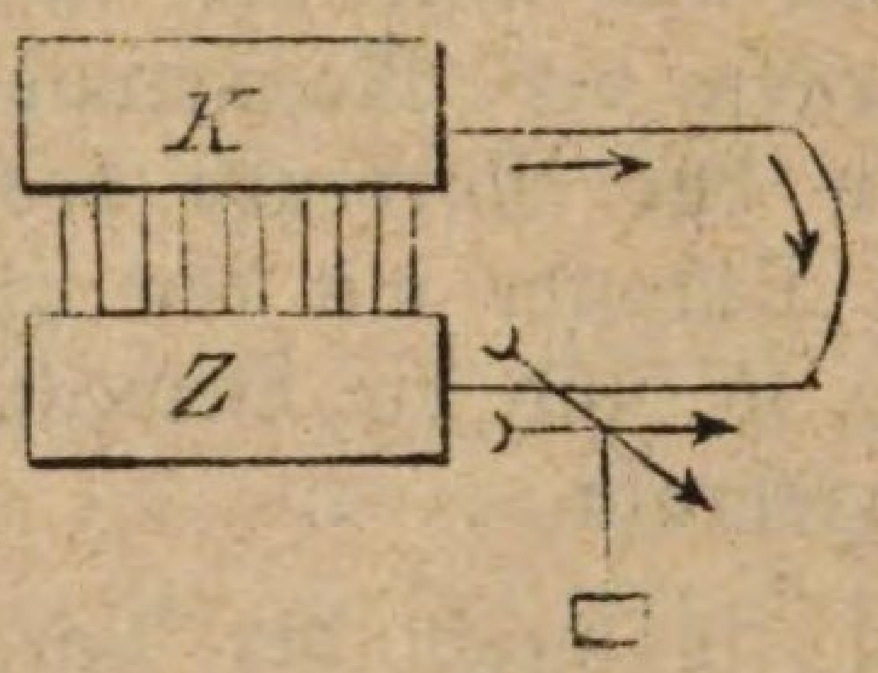
Wird bei diesem Versuche das Nordende des Verbindungsdrahtes mit dem Zinkpole, das Südende mit dem Kupferpole verbunden, so wird die westliche Abweichung des Nordpoles zu einer östlichen, die östliche zu einer westlichen, die Hebung zur Senkung, die Senkung zur Hebung. Experimentirt man aber mit der einfachen Kette, so sind die Bewegungen der Magnetnadel in irgend einer bestimmten Lage des Verbindungsdrahtes zur Magnetnadel entgegengesetzt von denen in derselben Lage beim Gebrauche der Säule, wenn an die Stelle des Kupferpoles der Säule das Kupfer der einfachen Kette an die des Zinkpoles dort, das Zink hier tritt; wo also beim Gebrauche der Volta'schen Säule, wenn das Nordende des Leitungsdrahtes mit dem Kupferpole verbunden wird, die Abweichung westlich ist, da ist sie hier bei derselben Lage des Drahtes, wenn sein Nordende mit dem Kupfer verbunden wird, östlich u. s. w. Dieser Gegensatz in den Ablenkungen ist Folge der entgegengesetzten Richtung in der Strömung der gleichnamigen Elektrizität in der Volta'schen Säule und in der einfachen Kette. Wie schon aus dem Vorhergehenden bekannt ist, nimmt man an, daß sowohl in der geschlossenen Säule als auch in der geschlossenen einfachen Kette Strömungen der beiden Elektrizitäten nach entgegengesetzten Richtungen stattfinden, weshalb man der Einfachheit wegen nur immer von dem Strome der positiven Elektrizität

spricht und ihn überhaupt den elektrischen Strom nennt, indem man sich den Strom der negativen Elektrizität in entgegengesetzter Richtung stillschweigend hinzudenkt.

Dieser elektrische Strom bewegt sich aber im Verbindungsdrahte der Säule (§ 215, 2) vom Zinkpole (+) nach dem Kupferpole (—), im Verbindungsdrahte der einfachen Kette (§ 214) aber vom Kupfer zum Zink. Ist nun z. B. bei dem Oersted'schen Versuche der untere horizontale Theil des Leitungsdrahtes so in der Verbindungskette, daß sein Nordende mit dem Kupferpole und sein Südende mit dem Zinkpole leitend verbunden ist, so geht hiernach in ihm der elektrische Strom von Süden nach Norden. Ist dagegen sein Nordende mit dem Kupfer und sein Südende mit dem Zink der einfachen Kette verbunden, so geht der Strom in ihm in umgekehrter Richtung, von Norden nach Süden. Denkt man sich aber in Figur 114 bei der Volta'schen Säule die Endplatten Kupfer und Zink weggenommen, wodurch in ihrem elektrischen Zustande keine Aenderung hervorgebracht wird (§ 215, 2), so erhält sie eine der viergliedrigen Batterie (§ 217, 2) entsprechende Form und man kann dann sagen: Bei allen einfachen Ketten und allen Batterien ist das negative Metall der + Pol, das positive Metall der — Pol und bei allen geschlossenen einfachen Ketten und Batterien geht in dem Schließungsdrahte der Strom vom + Pole nach dem — Pol, d. i. von dem negativen Metalle zum positiven, also vom Kupfer, Platina oder Kohle zum Zink. Wird nun in Figur 114 nach Entfernung der untern Zinkplatte und der obern Kupferplatte die Säule umgekehrt gedacht, so daß die untere Kupferplatte oben, die obere Zinkplatte dagegen unten zu liegen kommt, so schließen Säule und Kette oben mit Kupfer, unten mit Zink und in beiden geht dann der elektrische Strom durch den Schließungsdraht in derselben Richtung, nämlich von oben nach unten, und die Abweichungen der Magnetnadeln müssen dann übereinstimmend sein.

Figur 114.

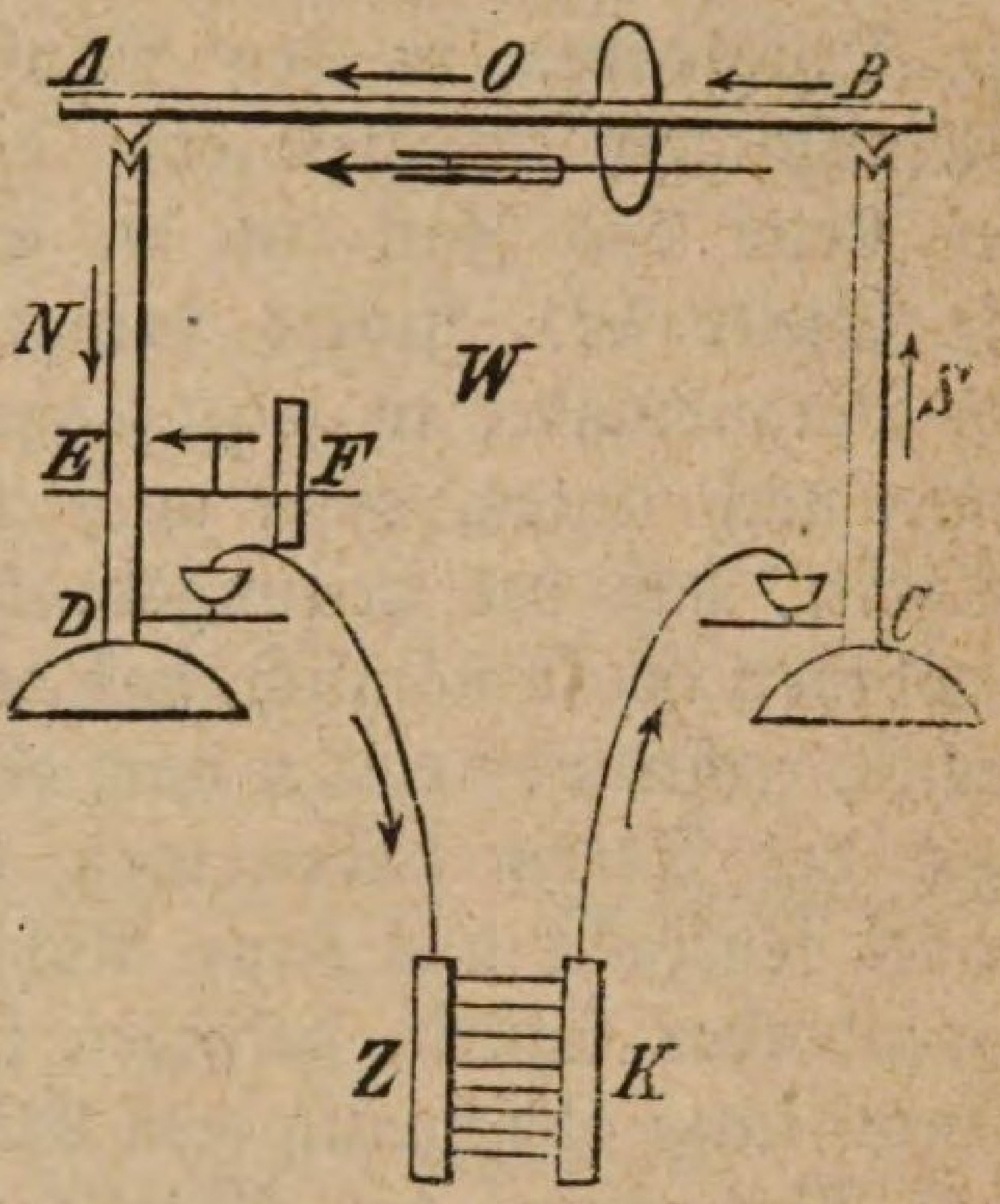




220. 1) Einen zweckmäßigen elektromagnetischen Apparat, nicht nur zur Untersuchnng der Einwirkung des horizontalen, sondern auch des vertikalen Leitungsdrahtes (§ 222) auf die Magnetnadel, giebt Figur 115 (siehe nebenstehend) in seinen Hauptttheilen an. Er besteht aus zwei vertikalen 18″ langen Leitern auf Bleifüßen und mit Quecksilbernäpfchen versehen, einem horizontalen 30″ langen Leiter mit einer beweglichen Holzscheibe, in welche sich eine 8″ lange Magnetnadel mittelst einer Gabel anbringen läßt, und aus einer beweglichen

Holzscheibe an dem einen senkrechten Leiter, zu welcher eine 4″ lange Balkennadel und eine Federklemme mit einem senkrecht verschiebbaren Magnetstäbchen gehört. Denken wir uns die Näpfchen mit der einfachen Kette so verbunden, wie es die Zeichnung angiebt, so geht der Strom in CB herauf, in BA von B nach A, also von Süden nach Norden, in AD aber herab, und das Verhalten der Magnetnadel auf den verschiedenen Seiten des horizontalen Leitungsdrahtes, an dessen Südende wir uns stehend denken, ist nun folgendes:

Figur 115.



Unter dem Leitungsdrahte weicht der Nordpol nach *Westen* ab, *links* von demselben nach *oben*, *über* demselben nach *Osten*, und *rechts* von demselben nach *unten* ab.

Schon in diesen Abweichungen ist eine Rotation der Magnetnadel um den festen Leitungsdraht angedeutet und zwar von der Art, daß sie unter ihm von Osten nach Westen, also mit einer senkrecht gestellten Uhr, die ihr Zifferblatt nach Süden gerichtet hat, verglichen, in der Richtung der Bewegung der Zeiger rotirt; auch ist die Folgerung leicht zu machen, daß der Leitungsdraht um den Magneten, wenn jener beweglich und dieser festgemacht werden könnte, in entgegengesetzter Richtung rotiren müßte. Die Rotation der Magnetnadel kann nur deshalb nicht stattfinden, weil sie durch ihre Unterstützung im Schwerpunkte festgehalten wird, und weil beide Hälften nach entgegengesetzter Seite bewegt werden; durch Beseitigung dieser Hindernisse tritt auch in der That die Rotation ein (§ 222). Zugleich zeigen diese Abweichungen, daß der Leitungsdraht auf eine andere Weise als unsere gewöhnlichen Stahlmagnete magnetisch werde. Da nämlich den Nordpol nur Nordmagnetismus, so wie den Südpol nur Südmagnetismus abstoßen kann, so müssen wir nach diesen Abweichungen annehmen, daß bei so einem magnetisch gewordenen Verbindungsdrahte der Nordmagnetismus ringsherum nach der einen Richtung und der Südmagnetismus ebenfalls ringsherum nach der entgegengesetzten Richtung wirksam ist. Während sich also ein Stahlmagnet als Longitudinalmagnet zeigt, so daß eine transversale Theilung stattfindet, indem die eine Hälfte nordpolarisch, die andere südpolarisch ist, zeigt sich hier der Leitungsdraht als Transversalmagnet, wobei man aber nicht etwa an eine nord- oder südpolarische Hälfte, durch longitudinale Theilung entstanden, denken, sondern die Vorstellung festhalten muß, daß es ein Magnetismus im Kreise um den Draht, ein Zirkularmagnetismus, ist, indem jeder Punkt nach der einen Seite nordpolarisch, nach der entgegengesetzten südpolarisch wirkt.

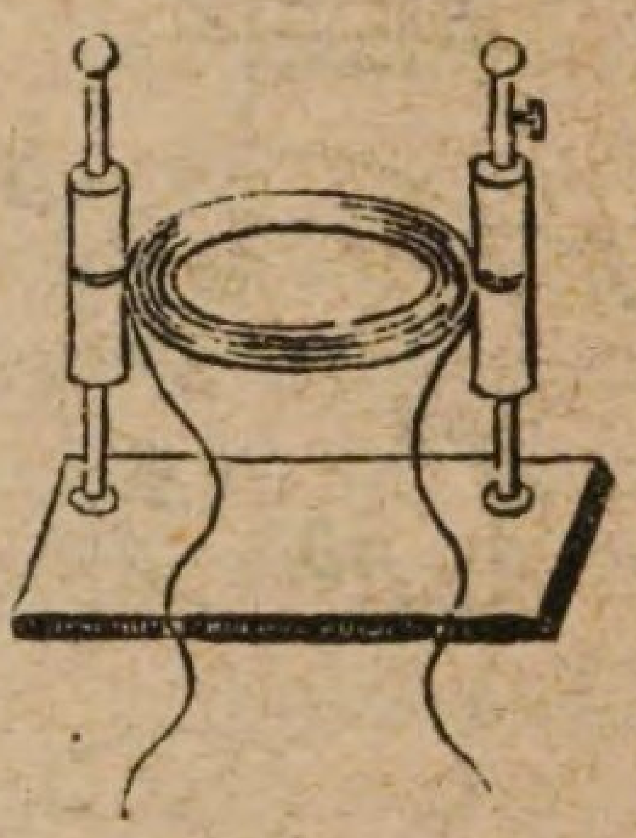
Giebt man nun dem Strome eine entgegengesetzte Richtung, d. h. eine solche, daß er in dem horizontalen Theile des Verbindungsdrahtes nicht von B nach A, sondern von A nach B; nicht von Süden nach Norden, sondern von Norden nach Süden geht, indem man entweder die Drahtenden in den Näpfchen, oder die andern Enden an den Metallplatten wechselt oder die Kette umkehrt, d. h. durch Drehung der Kette das Zink an die Stelle des Kupfers und das Kupfer an die Stelle des Zinkes bringt, so werden dadurch die Abweichungen der Magnetnadel in jeder Lage entgegengesetzt, also unten nach Osten, links nach unten, oben nach Westen, rechts nach oben — woraus wir folgern, daß der Leitungsdraht auf entgegengesetzte Weise magnetisch geworden ist, so nämlich, daß der Nordmagnetismus unten von links nach rechts, rechts von unten nach oben u. s. w. wirkt. — Welche Richtung aber auch der Strom haben mag, immer hat er das Bestreben, die Magnetnadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen, was ihm aber nur bei bedeutender Stärke gelingen kann, da die Magnetnadel außer seiner Einwirkung gleichzeitig dem Erd-Magnetismus unterworfen ist, weshalb ihre Abweichung der Mittelkraft aus der Stromstärke und der magnetischen richtenden Kraft entsprechen muß, wenn nicht etwa in einzelnen Fällen jene so bedeutend groß ist, daß diese verhältnißmäßig unbedeutend klein erscheint.

Die Bewegungen der Magnetnadel beim Oersted'schen Versuche merken sich leicht und lassen sich im Voraus nach folgender Regel von Gilbert angeben: Denkt man sich selbst oder eine andere menschliche Figur in dem Leitungsdrahte liegend, mit dem Kopfe dahin, wohin der elektrische Strom geht (also gewissermaßen mit den Füßen bei der Säule nach dem Zinkpole, bei der einfachen Kette nach dem Kupfer ꝛc.) und mit dem Gesichte nach der Magnetnadel zugewendet, so giebt die ausgestreckte linke Hand immer die Abweichung des Nordpols richtig an. Ein zweites gutes Mittel ist ein langes, dünnes, vierseitiges Prisma oder auch ein Zylinder aus Pappdeckel, den Leitungsdraht vorstellend, dessen eines Ende, welches stets nach dem Kupfer der Kette gekehrt wird, mit Goldpapier; dessen anderes Ende, welches stets nach dem Zink gewendet wird, mit Silberpapier überzogen ist, und auf dessen vier Seiten in mäßigen Entfernungen in derselben Richtung Pfeile mit den Spitzen nach rechts, wenn wir das Kupferende uns zukehren und das Zinkende von uns abwenden, gezeichnet sind. Die Spitzen der Pfeile des in der Richtung des Leitungsdrahtes richtig gehaltenen Prismas geben die Abweichung des Nordpoles auch immer richtig an.

2) Da ein elektrischer Strom in dem Verbindungsdrahte über der Magnetnadel und ein anderer unter derselben in derselben Richtung entgegengesetzte Abweichungen bewirken, so ist einleuchtend, daß die Magnetnadel keine Abweichung zeigen kann, wenn von zwei gleich starken Strömen von derselben Richtung der eine über und der andere unter ihr, überhaupt wenn sie auf entgegengesetzten Seiten in derselben Richtung stattfinden; da aber ein Strom über und der andere unter der Magnetnadel, aber in entgegengesetzter Richtung, gleiche Abweichungen bewirken, so folgt hieraus natürlich, daß Ströme über und unter der Magnetnadel, überhaupt auf entgegengesetzten Seiten derselben, bei entgegengesetzter Richtung sich in ihrer Wirkung wechsel-

seitig unterstützen, also die Abweichung vergrößern. Geht daher ein langer Leitungsdraht, in vertikaler Ebene gewunden, um die Magnetnadel, so führen dessen obere und untere Theile den elektrischen Strom nach entgegengesetzten Richtungen, bewirken deshalb gleiche Abweichung, weshalb die Totalabweichung mit der Zahl der Windungen zunehmen muß. Hierauf gründet sich Schweigger's oder Poggendorf's Multiplikator oder Galvanometer, Figur 116, ein sehr wichtiges Instrument, da es zur Entdeckung der allerschwächsten elektrischen Ströme dient, also ein wahres Mikroelektrometer ist. Auch ist dieses Instrument für die Aufstellung der elektrischen Spannungsreihe von großer Wichtigkeit, wobei die kleinsten Stückchen und Splitterchen der Körper, zu einer einfachen Volta'schen Kette verbunden, brauchbar sind. Die Abweichungen werden mit den bekannten Abweichungen der Zinkkupferkette verglichen und hierdurch bestimmt, welcher der untersuchten Körper wie das Zink als positiv, und welcher wie das Kupfer als negativ elektrisch zu betrachten ist.

Figur 116.

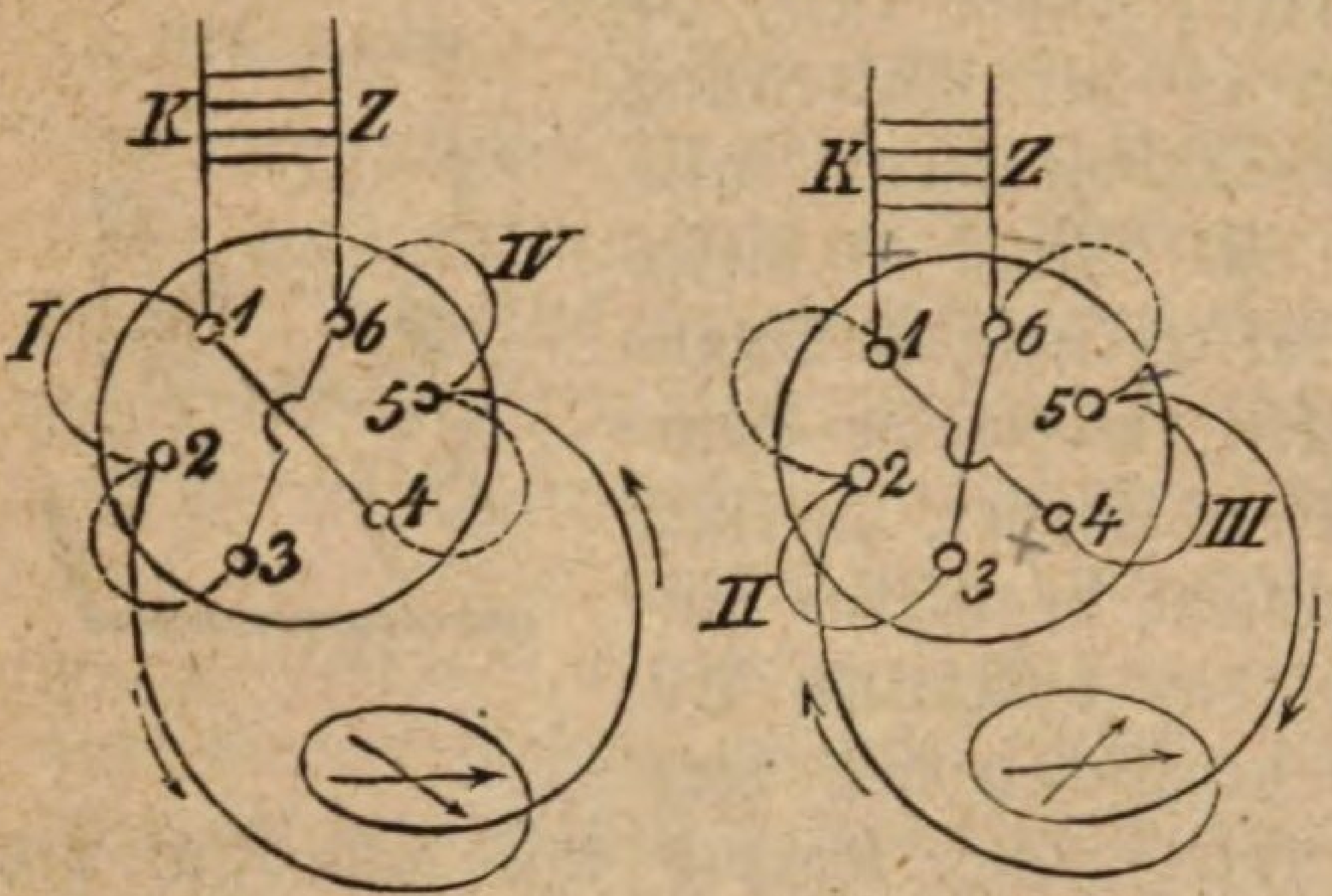


Bei Nobili's sehr empfindlichem Multiplikator wird statt einer einfachen Nadel eine astatische Doppelnadel angewendet, so daß die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere aber über den oberen Theilen derselben sich befindet; beide Nadeln erhalten gleiche Bewegungen und die Einwirkungen des Erdmagnetismus sind aufgehoben. Häufig erhalten die Windungen des Multiplikators die Form der Ziffer Acht und die Nadeln bewegen sich in den zwei Ringen desselben (§ 200). Zur Messung stärkerer Ströme dient die Tangentialboussole, bei welcher sich eine Magnetnadel in der Mitte eines senkrechten, kreisförmig gestalteten Kupferstreifens befindet. Die Stärke des Stromes ist der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

3) Ein sehr sinnreiches und einfaches Instrument zur bequemen Umkehrung der Richtung des elektrischen Stromes, ohne nöthig zu haben, eine Aenderung in der Stellung der Kette oder in der Lage der Drähte vorzunehmen, ist Pohl's Gyrotrop (Kommutator, Inversor, Stromwender). Er hat zwei Hauptheile: 1) Eine gewöhnlich runde Holzscheibe mit einem isolirenden Ueberzuge und mit sechs an der Peripherie angebrachten, metallisch ausgefütterten und zur Aufnahme von Quecksilber bestimmten Vertiefungen, von denen zwei Paare (1 und 4, 3 und 6) durch metallene Durchmesser verbunden sind, die sich aber in der Mitte nicht berühren dürfen, weshalb sich dort entweder ein isolirender Zwischenkörper befindet oder der eine Diameter über den andern durch eine angebrachte Biegung hinweggeführt ist; 2) den sogenannten Biegel, ein Glaszylinderchen, an den Enden mit metallischen Einfassungen, an deren jeder drei metallene Strahlen in der Art befestigt sind, daß diese sechs metallenen Strahlen mit ihren Enden beim richtigen Auflegen des Biegels auf die Scheibe in die beim Gebrauche mit Quecksilber gefüllten sechs Vertiefungen zu liegen kommen. Die mittelsten Strahlen, welche in das

nicht verbundene Paar von Vertiefungen passen, sind länger, als die vier übrigen Strahlen, woraus folgt, daß immer nur vier Strahlen, worunter stets die zwei längeren sind, mit ihren Enden in den zugehörigen Vertiefungen sich befinden können, die übrigen zwei aber über ihren Vertiefungen stehen. Wie durch die sogenannte Umlegung des Biegels eine Stromumkehrung stattfindet, ist aus Figur 117 ersichtlich. Die langen Strahlen des Biegels ruhen immer in 2 und 5, und er selbst so, daß entweder die Verbindungen I. und IV. oder II. und III. stattfinden. Wenn nun die erste Verbindung hergestellt wird, der Draht vom Kupfer nach 1, der vom Zink nach 6 und die Enden des Multiplikators nach 2 und 5 geführt werden, wie es die Zeichnung angiebt, so geht der Strom von K nach 1, sodann über I. nach 2, durchläuft die Windungen des Multiplikators, wie es die Pfeile angeben, tritt in 5, geht über IV. und 6 nach Z und von hier durch die Flüssigkeit nach K u. s. w. Wird der Biegel aber auf die andere Seite umgelegt, werden also die Verbindungen II. und III. bewirkt, so geht der Strom von K nach 1, von hier aber durch den metallenen Diameter nach 4, von hier über III. nach 5 und dann in die Windungen des Multiplikators, die er also in entgegengesetzter Richtung durchläuft u. s. w. Die Drähte vom Kupfer und Zink können natürlich auch nach 2 und 5, die Enden des Multiplikators dagegen nach 3 und 4 gebracht werden.

Figur 117.



Fortgesetzte Rotation der Magnetnadel, so wie Bewegungen in halben Peripherien mit und ohne Zuziehung des Gyrotropen. — Der Multiplikator hat zur Konstruktion eines elektromagnetischen Telegraphen Veranlassung gegeben, des sogenannten Nadeltelegraphen. (§ 223, II., 3.)

221. Versuche mit solchen Schließungsdrähten, deren Verhalten in dreifacher Beziehung, nämlich gegen gewöhnliche Magnete, gegen einander und gegen den Erdmagnetismus untersucht worden ist, ergeben folgende Hauptresultate:

1) Es ist gleichgültig, aus welchem Metalle diese Drähte bestehen und wie sie geformt sind; die Ablenkungen, Hebungen und Senkungen der Magnetnadel erfolgen auf dieselbe Art.

2) Diese elektrischen Leitungsdrähte (Rheophoren) ziehen Eisenfeilspäne an und halten sie fest, besonders stark, wenn sie spiralförmig gewunden sind. Die Eisentheilchen bilden dabei Ringe um den Leitungsdraht.

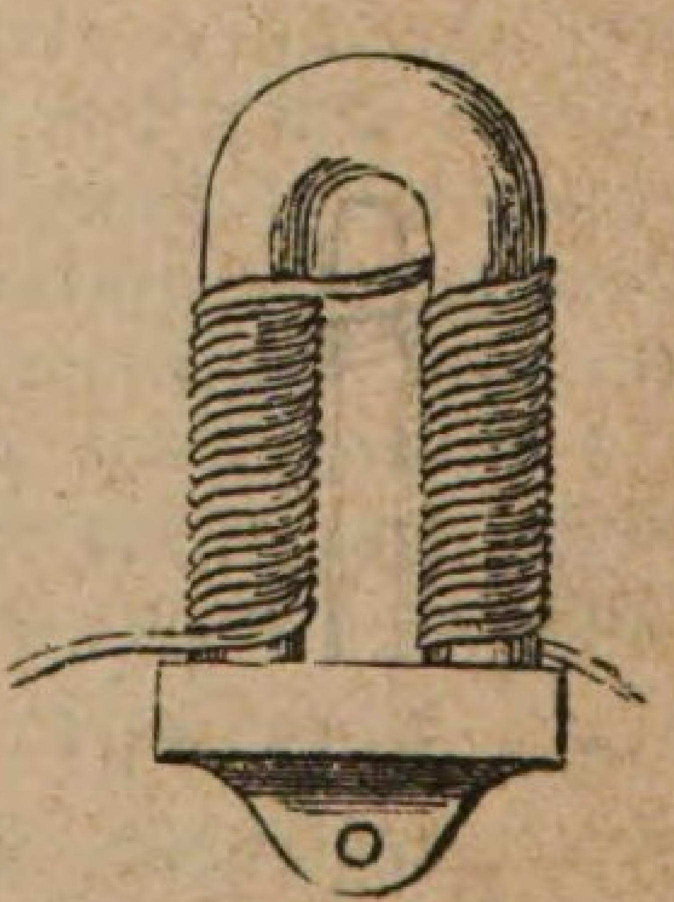
Wird eine in einer Ebene gewundene Spirale aus Kupferdraht, die eine Volta'sche Kette schließt, mit Papier bedeckt, und dieses mit Eisenfeilspänen bestreut, so ordnen sich dieselben zu einer schönen elektromagnetischen Figur über den Windungen der Spirale, wobei die zu den Windungen senkrechte Lage der aus den Eisenfeilspänen gebildeten Fäden deutlich sichtbar wird.

3) Solche Leitungsdrähte, namentlich wenn sie schraubenförmig gewunden sind, erregen, wiewohl sie den Magnetismus selbst nur vorübergehend, nämlich so lange sie wirklich die Säule oder Kette schließen, besitzen, in den Stahlnadeln bleibenden Magnetismus. Bei den geradlinigen Drähten legt man die Stahlnadel querüber, bei den spiralförmig gewundenen, die man auch elektrodynamische Zylinder oder Schraubendrähte (Solenoide) nennt, schiebt man sie, gewöhnlich mit einer Glasröhre umgeben, in den Raum zwischen die Windungen, wodurch sie in Bezug auf diese auch quer zu liegen kommt und gleichzeitig viele Stellen des Drahtes auf sie wirken.

Wird in einen Schraubendraht ein etwas längeres Stäbchen aus weichem Eisen gebracht, so wird dieses bei der Schließung der Kette sogleich magnetisch; die Eisenfeilspäne, welche die hervorragenden Enden festhalten, fallen aber ab, sobald der Biegel des in die Schließung hineingebrachten Gyrotropen umgelegt wird, werden aber sofort wieder angezogen, wenn die Umlegung geschehen ist. Die Untersuchung des Magnetstäbchens mittelst einer Magnetnadel zeigt, daß bei der Umlegung des Biegels seine Pole sich umkehrten; bei rechts gewundenen Schraubendrähten, deren Windungen wie die eines Korkziehers laufen, erhält das Stäbchen den Südpol an demjenigen Ende, wo der elektrische Strom eintritt, bei den links gewundenen dagegen, wo er austritt, was schon aus der Gilbert'schen Regel (§ 220) leicht zu folgern ist, indem der Stab den Nordpol an demjenigen Ende erhalten muß, nach welchem hin der Nordpol einer Magnetnadel unter oder über den Windungen der Spirale abweichen würde, da auch nach dieser Richtung der Nordmagnetismus des Leitungsdrahtes nach dem Gesetze der Influenz den Nordmagnetismus des Stabes abstoßen muß. Die Eisenfeilspäne müssen also in dem Augenblicke herabfallen, in welchem der Uebergang des einen Magnetismus in den anderen stattfindet, in dem Augenblicke des Nichtmagnetischseins, d. i. bei der in Folge des Umlegens des Biegels stattgefundenen augenblicklichen Unterbrechung des elektrischen Stromes.

Am überraschendsten geschieht die fast augenblickliche Verwandlung des Eisens in einen sehr kräftigen Magneten, wenn ein Hufeisen von weichem Eisen mit Kupferdraht umwunden wird, dessen Enden an den Füßen des Hufeisens mit einer kräftigen Kette leitend verbunden werden können. Der nach dieser Verbindung angelegte Anker trägt nach der Größe des Hufeisens und der elektrischen Erregung 30, 40, 50, 100 Pfund und darüber, ja man hat Elektromagnete von 2000 Pfund Tragkraft bei 5 Quadratfuß Flächengröße der Zinkplatte der einfachen Volta'schen Kette erhalten. Figur 118. Wird der Strom mittelst des Gyrotropen umgekehrt, so fällt das Gewicht ab; ist es aber mäßig groß und wird durch eine Vorrichtung dafür gesorgt, daß es nicht zu tief herabfällt, so kann es bei fortgesetzter Umlegung des Biegels zu einer Bewegung zwischen dem Elektromagneten und der angebrachten Unterlage gezwungen werden.

Figur 118.



Die Tragkraft eines Elektromagneten ist desto größer, je stärker der elektrische Strom, je größer die Zahl der Umwindungen, je reiner, weicher und homogener das Eisen ist; aber auch die

Form ist von Einfluß, wie Joule's Elektromagnet beweist, welcher die Form eines hohlen Zylinders hat, von welchem ein Stück parallel mit der Achse abgeschnitten ist und als Anker dient, während um den andern größeren Theil längs der Länge die Windungen gehen. Ist der Hohlzylinder längs der Achse getheilt und beide Hälften mit Drahtwindungen versehen, so läßt sich die Tragkraft eines solchen zylindrischen Elektromagneten außerordentlich steigern.

Um Stahlmagnete, die man im Gegensatze zu den Elektromagneten auch Dauermagnete nennt, von bedeutender Stärke durch den galvanischen Strom zu erzeugen, bedient man sich nach Elias einer Drahtrolle, welche aus etwa 25 Fuß langem und $^1/_8$ Zoll dickem, mit Seide umsponnenem Kupferdrahte so gewunden ist, daß sie bei etwa 1 Zoll Höhe $1^1/_2$ Zoll inneren Durchmesser hat. Nachdem die Drahtenden mit einer kräftigen Kette in Verbindung gesetzt worden sind, wird der Stahlstab durch die Rolle gesteckt, darauf bis an die Enden hin und her bewegt, zuletzt mit seiner Mitte in der Rolle in Ruhe versetzt und die Schließung der Kette aufgehoben; der Stab zeigt sich dann stark magnetisch. Die Annahme des Magnetismus wird befördert, wenn man die Enden der geraden Stäbe mit Stücken weichen Eisens, die hufeisenförmigen aber mit Ankern versieht (§ 197, 1). — Von Elektromagneten wird eine wichtige Anwendung bei den Zeiger- und Druck-Telegraphen, so wie beim Betriebe von Maschinen gemacht (§ 223).

4) Diese magnetisch gewordenen Leitungsdrähte sind auf Nadeln aus anderen Metallen als Eisen, wie von Silber und Kupfer, ohne Wirkung.

5) Sind solche Leitungsdrähte beweglich eingerichtet, und laufen sie parallel neben einander, so ziehen sie sich an oder stoßen sich ab, je nachdem die elektrischen Ströme in ihnen nach denselben oder nach entgegengesetzten Richtungen gehen. Es findet auch Anziehung statt, wenn zwei Ströme überhaupt gegen denselben Punkt oder von demselben aus sich bewegen, eine Abstoßung, wenn ein Strom nach einem Punkte, der andere aber von demselben hinwegfließt. — Die Erklärung beruht auf der Art, wie jeder die Kette schließende Draht nach § 220 magnetisch wird. Zwei richtig zu einander gehaltene mit Pfeilen versehene Prismen, wie sie dort angegeben sind, zeigen die Nothwendigkeit der Erscheinung.

Wird eine Spirale von feinem, recht elastischen Drahte aufgehangen, ihr unteres mit einem kleinen spitz zulaufenden Gewichtchen versehenes Ende in Quecksilber gebracht und hierauf einerseits das obere Ende, andererseits das Quecksilber mit der galvanischen Kette verbunden, so sieht man die Spirale abwechselnd sich erheben und senken, indem sie sich, mit dem unteren Ende aus dem Quecksilber tretend, verkürzt, und darauf, sich wieder verlängernd, mit dem unteren Ende das Quecksilber berührt. Die Erklärung dieser Erscheinung ist leicht, wenn man bedenkt, daß in den einzelnen Windungen der Spirale die Ströme zu einander parallel sind, also Anziehungen stattfinden müssen, welche nur eine Verkürzung der Spirale zur Folge haben können, wodurch, indem das untere Ende aus dem Quecksilber tritt, die Stromleitung unterbrochen wird, die wieder erst dann vorhanden ist, wenn sich die Spirale durch die Schwere bis zur Berührung mit dem Quecksilber verlängert hat.

6) Nicht nur zwei elektrische Leitungsdrähte wirken auf einander anziehend und abstoßend wie zwei Magnete (5), sondern auch ein Leitungsdraht und ein Magnet.

7) Ein äußerst leicht beweglicher, in Form eines Kreises oder Quadrates gebogener Leitungsdraht wird, zweckmäßig aufgehangen, durch den Einfluß des Erdmagnetismus in die Richtung von Osten nach Westen so gestellt, daß seine Ebene auf der des magnetischen Meridians senkrecht steht, so daß also eine im Mittelpunkt des Kreisdrahtes auf dessen Ebene senkrechte Linie die Richtung der Deklinationsnadel hat; der Strom der Elektrizität geht dabei in der unteren Hälfte des Kreises von Osten nach Westen, er ist also auf der Westseite des Drahtes aufsteigend, auf der Ostseite niedersteigend. Da das Solenoid nur ein System paralleler Kreise ist, so wird dieses durch die Einwirkung des Erdmagnetismus sich so stellen, daß seine Achse die Richtung der Deklinationsnadel annimmt, also von Norden nach Süden gerichtet ist. Da in den sämmtlichen Windungen der untere elektrische Strom von Osten nach Westen geht, so wird Nordpol dasjenige Ende des Schraubendrahtes sein, in welchem, wenn man vor ihm steht, der aufsteigende Strom rechts liegt, und Südpol mithin das andere Ende, in welchem, wenn man sich wieder vor ihm stehend denkt, der aufsteigende Strom links liegt, was sich auch in folgende Regel fassen läßt: Südpol ist dasjenige Ende, an welchem sich die Ströme bewegen wie der Zeiger einer aufrecht stehenden Uhr, deren Zifferblatt wir ansehen, Nordpol daher, wo die Ströme die dem Laufe des Zeigers entgegengesetzte Richtung haben.

Ein solches Solenoid läßt sich auf eine durch seinen Schwerpunkt gehende horizontale Achse so aufstellen, daß es die magnetische Neigung annimmt; auch läßt es sich mittelst eines Magneten durch Anziehung und Abstoßung in Bewegung setzen und zwei Solenoide zeigen die Anziehung ungleichnamiger und die Abstoßung gleichnamiger Pole. — Ein Eisenstab, welcher in ein im magnetischen Meridian stehendes Solenoid gelegt wird, wird an dem nach Norden gerichteten Ende nordmagnetisch werden (§ 221, 3). — Die Magnetnadel läßt sich als ein Solenoid betrachten. Nach Ampère ist sie ein Körper, dessen kleinste Theile von elektrischen Strömen in auf ihrer Achse senkrechten Ebenen umkreiset werden; auch hier gehen die Ströme, wenn die Nadel im magnetischen Meridian ruht, an der unteren Seite von O—W, an der oberen von W nach O. Auch die Erde erhält nach dieser Ansicht ihren Magnetismus von elektrischen Strömen, welche, da die Erde in ihrer Nordhälfte südmagnetisch und in ihrer Südhälfte nordmagnetisch ist, dieselbe von O—W parallel mit dem magnetischen Aequator umkreisen müssen.

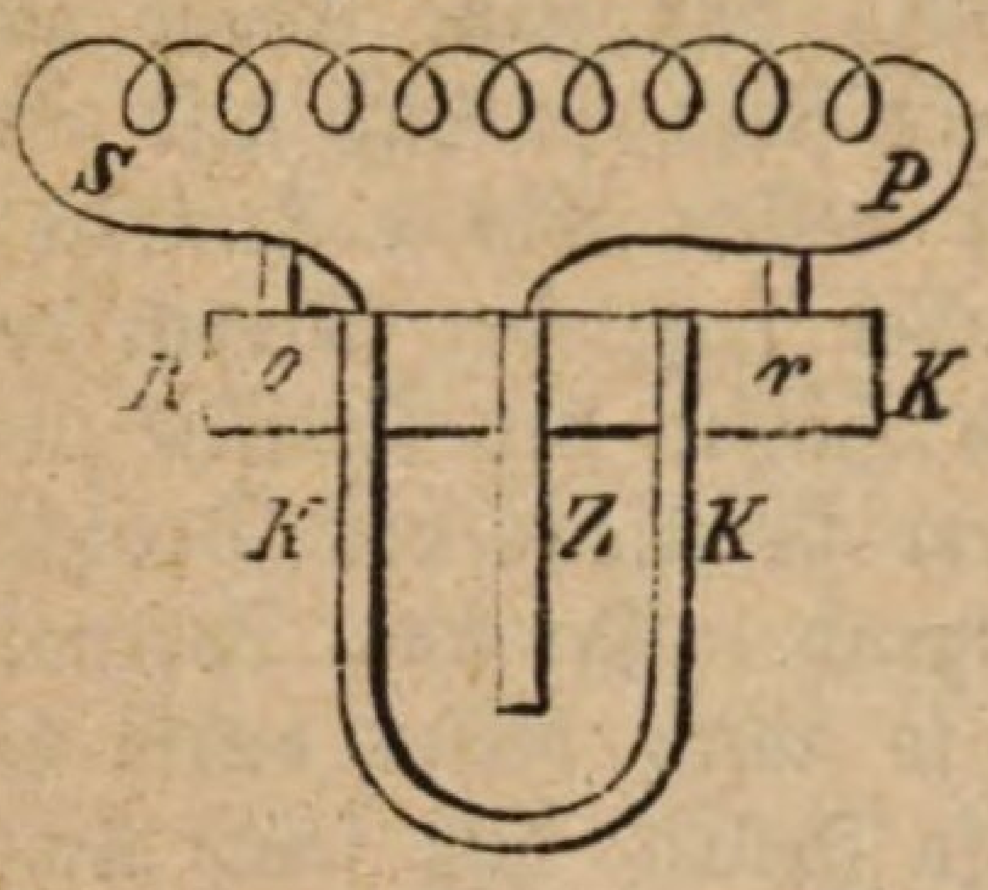
Die Schließungsdrähte zeigen sich also in jeder Beziehung als Magnete, denn sie ziehen Eisen an, sie theilen dem Eisen Magnetismus mit, sie wirken auf einander und auf Magnete wie Magnete, und sie stehen unter dem Einflusse des Erdmagnetismus.

Ampère's Theorie, Ampère's Gestelle, an dem sich alle hier angegebenen Erscheinungen der elektrischen Ströme bequem zeigen lassen. — De la Rive's elektromagnetischer Schwimmer, Figur 119 (siehe umstehend).

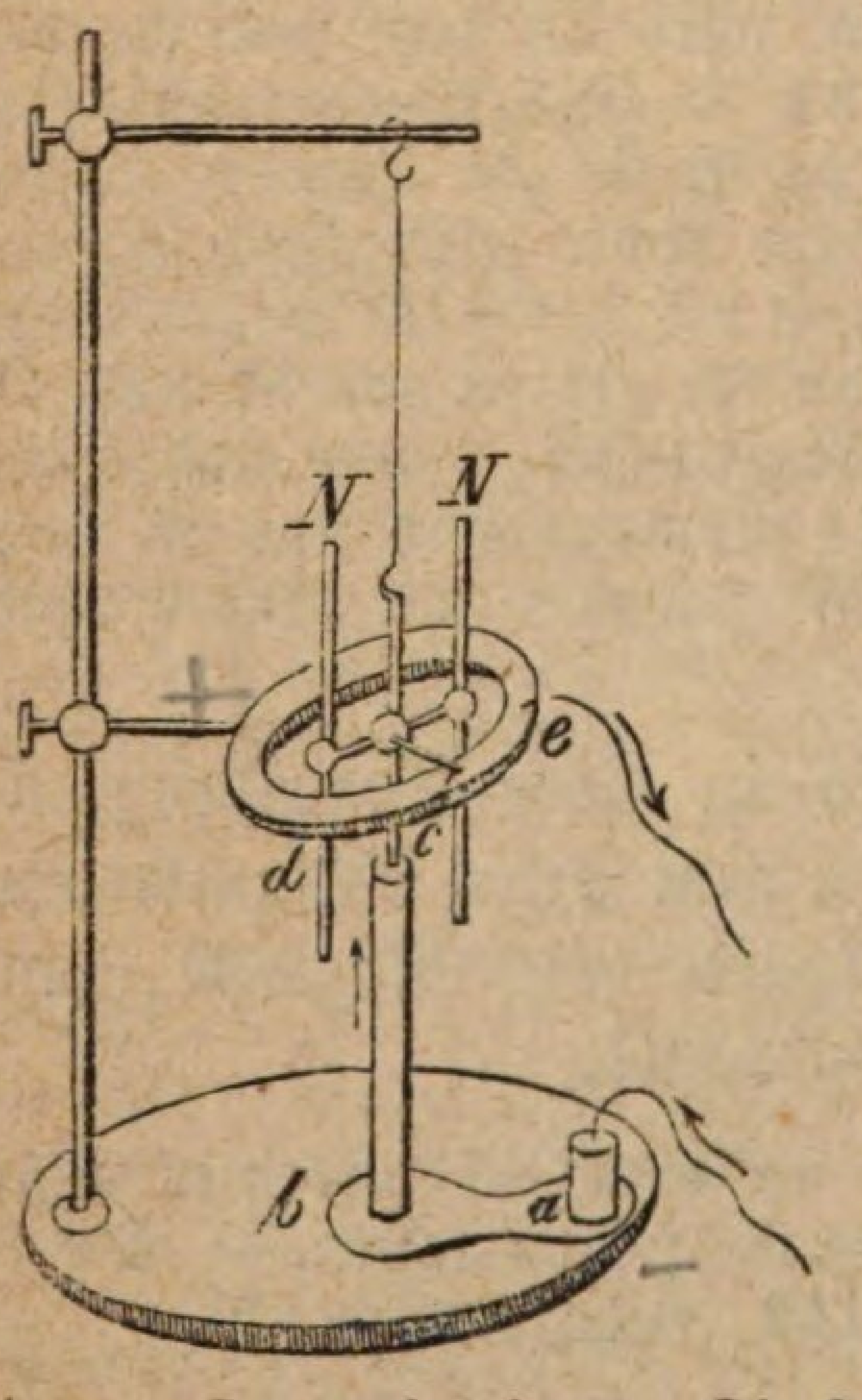
222. Den zweiten Haupttheil der elektromagnetischen Erscheinungen bilden die von dem Engländer Faraday entdeckten elektromagnetischen

Rotationsbewegungen, wobei die perpendikuläre Lage des Leitungsdrahtes und Magneten, wie bei dem Oersted'schen Versuche die horizontale, vorzugsweise in Betracht kommt. Diese Rotationen können nur dadurch möglich gemacht werden, daß der Leitungsdraht blos auf die eine Hälfte des Magneten wirkt; ist dabei der Draht fest und der Magnet beweglich eingerichtet, so muß die zweite Hälfte des Magneten die Bewegung des ersten annehmen und es entsteht eine Rotation des ganzen Magneten um den Leitungsdraht; bei der entgegengesetzten Einrichtung, daß der feste Magnet nur mit einer seiner Hälften auf den beweglichen Leitungsdraht wirkt, muß dieser um jenen rotiren. Die Erfolge der wechselseitigen Einwirkung lassen sich nach der in § 220 angegebenen Gilbert'schen Regel im Voraus bestimmen, wozu wieder der Apparat Fig. 115 sehr zweckmäßig ist. In dem senkrechten Theile AD geht der Strom herabwärts, und in F, d. h. auf der Südseite des Drahtes, wendet die Magnetnadel von selbst ihren Nordpol dem Drahte zu, in welchem die herabschwimmende und die Nadel ansehende Figur derselben eine Abweichung nach Westen anweiset. Auf der West-, Nord- und Ostseite des Drahtes wird die Magnetnadel gezwungen, ihren Nordpol nach dem Drahte zu kehren, durch das senkrecht, mit dem Nordpol nach oben gestellte Magnetstäbchen; aber dennoch sieht man die Magnetnadel auf der Westseite des Drahtes nach Norden, auf der Nordseite nach Osten und auf der Ostseite nach Süden abweichen — worin eine Rotation des Nordpoles um den Leitungsdraht von Norden über Osten nach Süden, also in der Richtung der Zeiger einer horizontal gelegten Uhr ausgedrückt ist. Bei dem anderen senkrechten Theile BC, in welchem der Strom heraufwärts geht, wird die Rotation nach demselben Gesetze in entgegengesetzter Richtung stattfinden, so wie in beiden Fällen, wenn statt des Nordpoles der Südpol der Magnetnadel dem Drahte zugewendet ist, auch ein Gegensatz in der Rotation hervortreten muß.

Figur 119.



Figur 120.

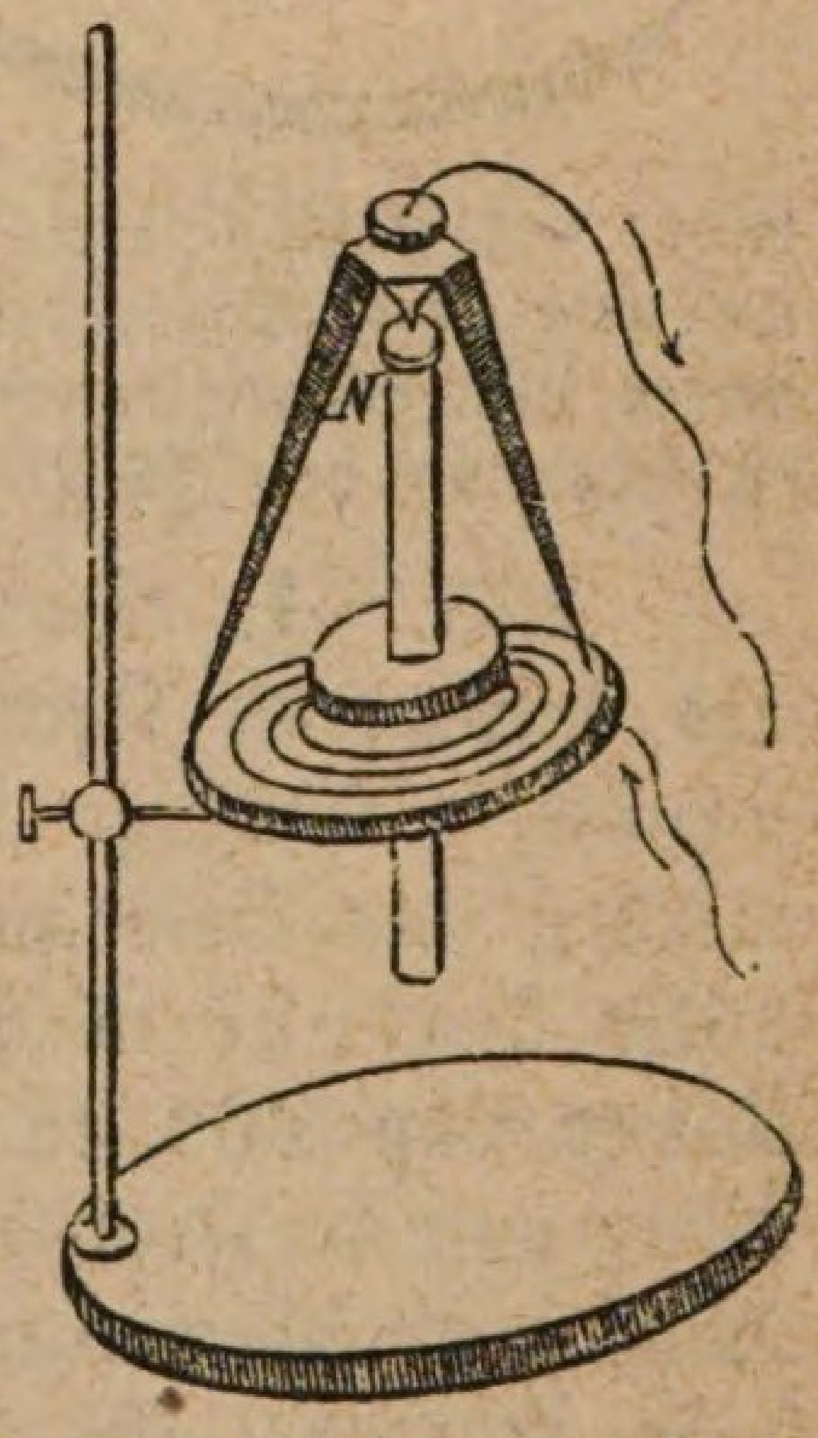


1) Für die Rotation eines Magneten oder zweier Magnete um einen vertikalen Leitungsdraht giebt die Figur 120 ein bequemes Instrument an, zu dessen Verständniß hier nur folgendes Wenige stehen mag. Der Leiter ist bc, welcher hier mit dem Kupfer der Kette verbunden betrachtet wird, während das Quecksilber der hölzernen Kreisrinne de mit dem Zink verbunden ist; die zwei Magnetstäbe, hier mit den Nordpolen nach oben durch einen metallenen Querstab ver-

bunden, dessen herabwärts gehende Spitze in das Quecksilber des oben ausgehöhlten Leiters und dessen seitwärts gehender Arm mit seiner Platinaspitze in die Quecksilberrinne reicht, werden zweckmäßig aufgehangen u. s. w. Ob die Rotation, welche nur eine Folge der Wirkung des Leitungsdrahtes bc auf die unteren Theile der Magnetstäbe ist, in der Richtung der Zeiger einer horizontal gehaltenen Uhr oder umgekehrt stattfindet, ist nach dem bekannten Gesetze leicht zu bestimmen; in unserer Figur müßte also, da der aufsteigende Strom auf die Südhälften der Stäbe wirkt, die Rotation in der ersten Art stattfinden. Ist nur ein Magnet und statt des zweiten ein bloßes Gegengewicht, etwa ein Bleikügelchen, angebracht, so ist die Rotation weniger lebhaft, da statt zweier in gleichem Sinne wirkender Bewegungsantriebe nur einer derselben wirkt.

2) Daß auch ein leicht beweglicher Leiter um einen festen Magneten in Rotation zu bringen sein muß, ist nach § 220 von selbst einleuchtend. Durch den leicht zu verstehenden Rotationsapparat, Figur 121, läßt sich zeigen, daß um einen senkrecht mit dem Nordpole nach oben festgestellten Magneten ein beweglicher Leitungsdraht von Norden über Osten nach Süden rotirt, wenn er den elektrischen Strom aufwärts führt, dagegen von Norden über Westen nach Süden, wenn in ihm der Strom abwärts geht; also dort wie der Zeiger einer horizontal gehaltenen Uhr, hier umgekehrt. Befindet sich der Südpol des Magneten oben, so macht der Draht seine Umläufe bei herab- und heraufwärts gehendem Strome in umgekehrter Richtung. Auch hier läßt sich nach der Gilbert'schen Regel die Richtung der Rotation (§ 220) angeben, indem man für jeden beliebigen Stand des Leiters so schließt: der Magnet müßte so abweichen, mithin der Leiter umgekehrt so, u. s. w.

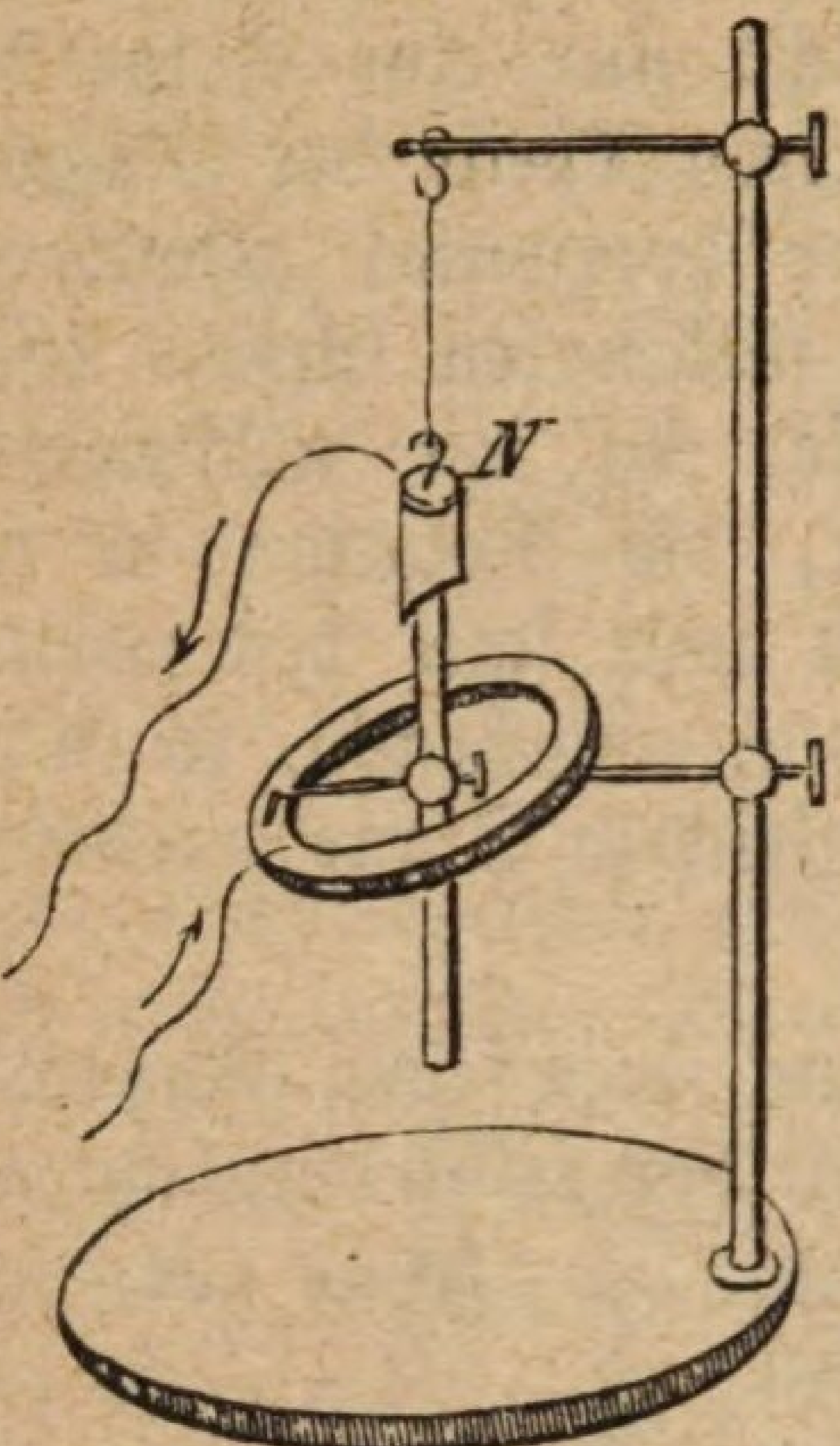
Figur 121.



3) Auch ein Magnetstab, welcher um seine vertikale Achse drehbar aufgehangen wird, rotirt, wenn durch ihn von einem Ende nach der Mitte oder umgekehrt ein elektrischer Strom geleitet wird. Ist der Nordpol oben und geht der Strom von oben bis zur Mitte, so nimmt der Magnet eine Drehung in der Richtung der Zeiger einer horizontal gehaltenen Uhr an, so wie umgekehrt, wenn bei demselben Strome, von oben nach der Mitte, sich der Südpol oben befindet. Bei der Wechselung des Stromes, also bei der Richtung von der Mitte nach oben, giebt es bei derselben Lage der Pole eine der vorigen Drehung entgegengesetzte Drehung. Denken wir uns die Achse gleichsam als den Leiter, welchen der Magnet umgiebt, so ist auch hier die Gilbert'sche Regel zur Bestimmung der Richtung der Rotation zureichend. Figur 122 (siehe umstehend).

Das Barlow'sche Rad. — Rotation eines kreisförmig gewundenen Leitungsdrahtes innerhalb der Pole eines hufeisenförmigen Stahlmagneten. —

Figur 122.



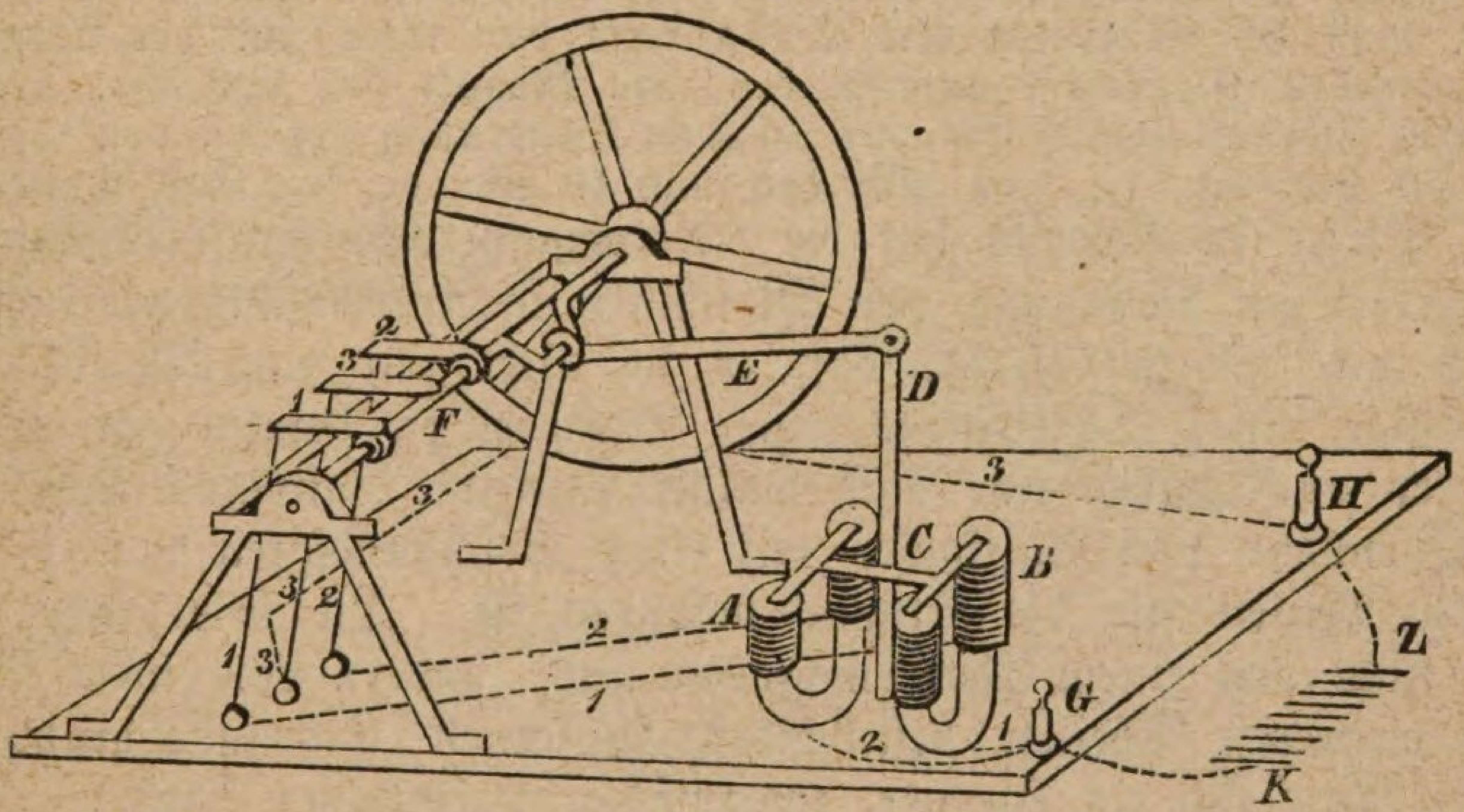
Rotation zweier kreisförmig gewundener und zu einem Systeme verbundener Leitungsdrähte um die Außenseiten der Pole. — Rotation eines Elektromagneten innerhalb der Pole eines Stahlmagneten. Bei den hierzu bestimmten Rotationsapparaten wird die nöthige augenblickliche Unterbrechung des elektrischen Stromes durch die Rotation selbst hervorgebracht. Die senkrecht herabgehenden Enden des Drahtes des rotirenden, mit einer senkrechten Achse versehenen Theiles reichen in einen Holznapf, welcher durch eine hölzerne Scheidewand in zwei Abtheilungen gebracht ist. Werden diese Abtheilungen mit Quecksilber gefüllt, so daß es nicht aus der einen in die andere überfließen kann, sodann die zwei Quecksilbermassen, welche jene Enden berühren, auch mit der einfachen Kette verbunden, so erfolgt die Bewegung; so oft die Drahtenden über die hölzerne Scheidewand hinweggehen, findet eine Unterbrechung des Stromes statt, die Bewegung kann aber wegen des Beharrungsgesetzes nicht sogleich aufhören, und so wie die Enden wieder das Quecksilber berühren, tritt das frühere magnetische Verhalten ein, weshalb die Bewegung ohne Unterbrechung fortgeht. — Auf magnetische Erscheinungen, welche durch den momentanen Strom der Friktionselektrizität hervorgerufen werden, ist schon in den §§ 207 und 209 aufmerksam gemacht worden.

223. I. Den Elektromagnetismus hat man bisher vorzugsweise als bewegende Kraft bei Maschinen und bei den Telegraphen angewendet. Kräftige Elektromagnete von einigen Zentnern Tragkraft werden zur Bewegung von Maschinen gebraucht, und wirklich befuhr 1838 Jakobi in Petersburg die Newa auf einem elektromagnetischen Kahne von 26' Länge und einer Bemannung von 12 Personen, und Wagner in Frankfurt a/M. konstruirte 1840 einen elektromagnetischen Wagen, welcher einen anderen mit 60 Pfd. Belastung auf einer Holzbahn fortzog. Es scheint jedoch, daß die elektromagnetische Kraft in ihren Leistungen niemals der Dampfkraft gleichkommen werde, schon darum nicht, weil Zink und Säure weit mehr kosten, als Kohlen. Keine der bisher erbauten elektromagnetischen Maschinen hat auch nur die Kraft Eines Pferdes gehabt.

Ein elektromagnetisches Räderwerk läßt sich einfach so konstruiren, daß ein mit den Enden nach oben auf einem Brete befestigtes Hufeisen und ein über demselben in geringer Entfernung auf einer eigenen Achse ruhender, horizontaler, starker, prismatischer Stab, beide zweckmäßig mit Draht umwunden und mit einem in § 222, 3 angegebenen, zweitheiligen Quecksilbernapf, dessen Scheidewand in der Richtung der Wölbung des Hufeisens liegt, verbunden, gleichzeitig durch denselben elektrischen Strom magnetisch gemacht werden. Das Hufeisen und der Stab werden gleichzeitig magnetisch, und zwar so, daß jedes Ende des Stabes und der unter ihm sich befindende Fuß des Hufeisens gleichnamige Pole erhalten, so daß von 0—90° vorzugsweise doppelte

Abstoßung, von 90—180° vorzugsweise doppelte Anziehung auf den Stab wirkt; bei 180°, wo der Strom durch die hölzerne Scheidewand unterbrochen wird, geht die Bewegung in Folge des Beharrungsvermögens dennoch über diese Scheidewand hinweg, und es tritt von 180° bis 360° genau dieselbe Wirkung ein, wie von 0 bis 180°, nur daß dieselben Enden des Stabes entgegengesetzt magnetisch werden. Wenn der über den Stab heraustretende Theil der Achse mit einem Getriebe versehen ist, so läßt sich die Bewegung des Stabes auf andere Räder, wie es der jedesmalige Zweck verlangt, fortpflanzen.

Figur 123.



Die Figur 123 zeigt eine andere Maschine, die für den Schulunterricht zu empfehlen ist. Werden die beiden Hufeisen A und B abwechselnd magnetisch, so muß der aus weichem Eisen bestehende Doppelanker C eine wiegende Bewegung annehmen, indem der linke und rechte Theil abwechselnd angezogen werden; in Folge dessen muß der senkrechte Stab D diese Bewegung mitmachen, und die Leitstange E muß horizontal hin und her gehen und mittelst des Krummzapfens F die metallische Welle in Rotation setzen, wodurch andere Maschinentheile ihre Bewegung erhalten können. Das Rad wirkt als Schwungrad. Wie die abwechselnde Magnetisirung und Entmagnetisirung der beiden Hufeisen durch die galvanische Elektrizität erreicht wird, ist aus der Figur zu ersehen, worin die von der Klemmschraube G ausgehende, zu B gehörige Drahtverbindung, so wie die dazu gehörige Feder über der Welle überall mit 1, die ähnliche ebenfalls von G ausgehende, aber zu A gehörende Drahtverbindung überall mit 2, mit 3 aber das mittlere der drei senkrechten Stäbchen, so wie seine Feder oben und die Drahtleitung unten nach der anderen Klemmschraube H bezeichnet wird. Die Federn 1 und 2 berühren die Welle während der Rotation immer nur auf der einen Hälfte, und zwar abwechselnd, in Folge der auf den entgegengesetzten halben Peripherien angebrachten Erhabenheiten; die Feder 3 aber liegt ohne Unterbrechung auf der

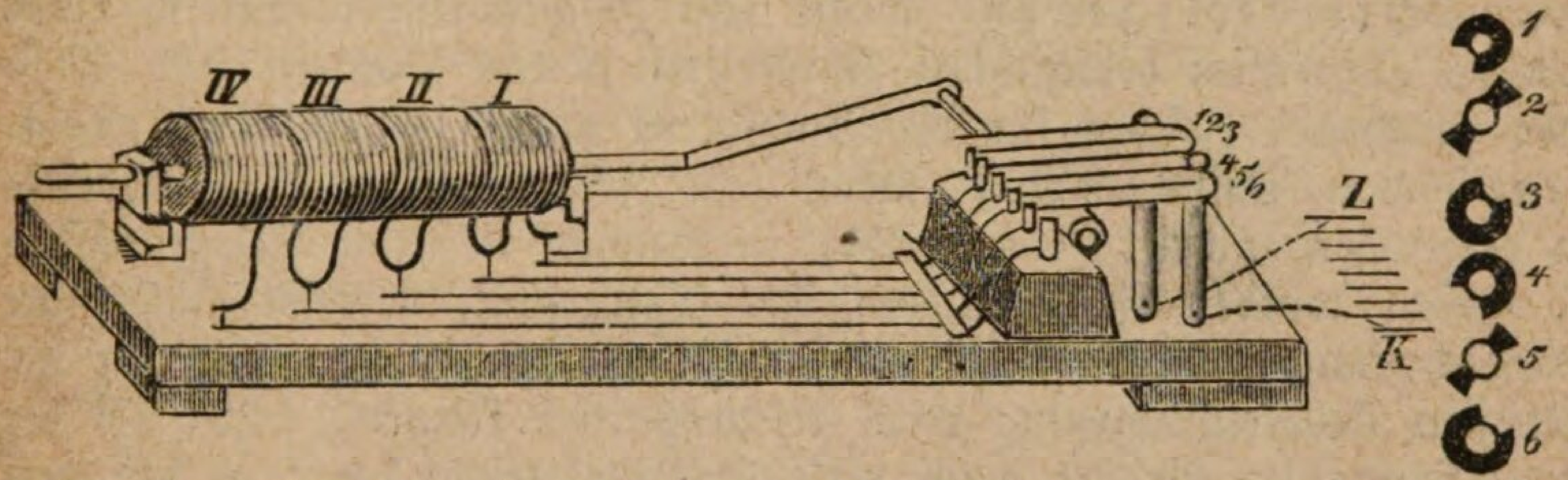
Welle und erhält daher abwechselnd die Elektrizität, welche von K durch G ausgegangen ist, von 1 und 2, und führt sie durch die Drahtleitung 3 und durch H nach Z.

Jakobi's Apparat zum Betriebe von Maschinen besteht aus zwei Systemen solcher elektromagnetischer Hufeisen, von denen die einen in einer beweglichen, die anderen in einer unbeweglichen Holzscheibe befestigt sind. Die Enden der Hufeisen des beweglichen Systems gehen bei stattfindender Bewegung dicht vor denen des unbeweglichen vorüber; die Rotation selbst wird hervorgebracht durch Anziehung und Abstoßung, indem die Hufeisen durch die galvanische Batterie mittelst des Kommutators so magnetisch werden, daß die Enden der beweglichen, deren Pole wechseln, von den in der Richtung der Bewegung liegenden Enden der unbeweglichen, deren Pole unverändert bleiben, angezogen, gleichzeitig aber von den anderen Enden abgestoßen werden. — Man muß bei Magneten ihre Tragkraft von ihrer mit der Entfernung abnehmenden Zugkraft unterscheiden; ein Magnet von 220 Pfd. Tragkraft übt eine Zugkraft von 90 Pfd. aus bei einer Entfernung der Last von $^1/_{250}$ Zoll, von 50 Pfd. bei $^1/_{100}$ Zoll und von nur 40 Pfd. bei $^1/_{50}$ Zoll Entfernung.

Page in Amerika hat die elektromagnetische Kraft in ganz anderer Art zur Bewegung von Maschinen in Anwendung gebracht und zwar mit solchem Glücke, daß er sie nicht nur zum Treiben einer Kreissäge, eines Schleifsteins, einer Drehbank 2c. benutzt hat, sondern daß er auch durch eine nach seinem Prinzipe konstruirte Lokomotive die Eisenbahn von Baltimore mit einer Geschwindigkeit von 10 englischen Meilen für die Stunde befahren ist. Die bewegende Kraft geht nicht von einem Elektromagneten aus, sondern von einem starken, aus mehreren Theilen bestehenden kupfernen Schraubendrahte, in dessen Mitte sich ein eiserner, zweckmäßig angebrachter Stab horizontal hin und her bewegt, indem die verschiedenen Theile des Schraubendrahtes in bestimmter Ordnung den elektrischen Strom abwechselnd leiten und nicht leiten, den Stab also abwechselnd anziehen und nicht anziehen. Die horizontale Bewegung des Eisenstabes mittelst einer Leitstange und einer Kurbel auf eine Welle übergetragen, versetzt diese und ihr Schwungrad in rotirende Bewegung. An der Welle, welche durch Metallfedern mit einer galvanischen Batterie unmittelbar verbunden wird, befindet sich der Stromunterbrecher, durch welchen die Elektrizität nach den verschiedenen Theilen des Schraubendrahtes zugelassen oder von ihnen abgehalten wird; er besteht lediglich in Erhabenheiten und Vertiefungen an denjenigen Stellen der Welle, über welchen die Federn liegen, so daß diese, wenn sie über die Erhabenheiten hinweggehen, gehoben und dadurch außer Verbindung mit der Leitung des einen oder des anderen Theiles des Schraubendrahtes gesetzt werden, während das Gegentheil sofort eintritt, wenn eine Vertiefung unter der Feder fortgeht und sich deshalb diese senkt. — Das bewegende Prinzip von Page beruht auf folgender Thatsache: Eine kräftige Spirale, deren Enden mit einer galvanischen Batterie verbunden werden, wird stark magnetisch und hält daher eine innerhalb gebrachte eiserne Stange fest und zieht sie, wenn sie zum Theil herausgezogen worden ist, sofort schnell zurück. Die von dem Mechanikus Fessel in Köln nach diesem Prinzipe angefertigte sogenannte

Kraftmaschine giebt die Figur 124 an, bei welcher nur noch an der Welle auf der der Leitstange entgegengesetzten Seite ein Schwungrad hinzuzudenken ist. Zum leichteren Verständniß folgende Andeutungen. Die Drahtrolle besteht aus 4 Theilen, I, II, III, IV; davon hat der Anfang von I seine eigene Verbindung mit der Feder 1, wenn sie herabsinkt — das Ende von I und der Anfang von II sind durch eine Klemmschraube vereinigt und stehen in Verbindung mit der Feder 2 — das Ende von II und der Anfang von III aber mit den Federn 3 und 4, dagegen das Ende von III und der Anfang von IV nur wieder mit der Feder 5, und das Ende von IV

Figur 124.



nur mit der Feder 6. Außerdem sind die Federn 1, 2, 3 miteinander auf einem Metallsäulchen, so wie die Federn 4, 5, 6 ebenfalls mit einander auf dem zweiten Säulchen vereinigt; die Säulchen selbst werden mit der Batterie verbunden. Die Lage der Erhabenheiten und Vertiefungen der Welle an denjenigen Stellen, über welchen die Federn liegen, wird durch die Nebenzeichnung angegeben.

II. 1) Jeder elektrische Telegraph hat zwei Theile, den Zeichengeber (Kommunikator) an dem Orte, von welchem man telegraphirt, und den Zeichenbringer (Indikator) an dem Orte, nach welchem man telegraphirt. Die beiden Apparate werden durch Kupferdrähte mit einander verbunden, welche entweder in der Luft über Stangen oder in der Erde, im Meere, durch Guttapercha isolirt, fortgeführt werden. Der Zeichengeber enthält als Quelle der Elektrizität gewöhnlich eine galvanische Batterie und einen Stromunterbrecher, durch welchen erreicht wird, daß die Elektrizität mit beliebigen Unterbrechungen durch einen Draht nach dem Zeichenbringer hingeleitet und durch einen zweiten von diesem nach dem Zeichengeber zurückgeleitet wird. Die Elektrizität durchläuft dabei beim Zeichenbringer entweder die Windungen eines Multiplikators, wodurch die darin enthaltene Magnetnadel nach der Richtung des Stromes rechts oder links abweicht, oder auch die Windungen eines Elektromagneten, der durch seine Ankerbewegung auf andere Theile des Apparats bewegend wirkt. Der die Elektrizität zurückführende Draht kann erspart werden, indem man von demselben an den beiden Stationen gleichsam nur kurze Enden behält, an welche einige Quadratfuß große Kupferplatten gelöthet und in die feuchte Erde versenkt werden, wo dann der zwischen

den beiden Kupferplatten liegende feuchte Erdstrich die Elektrizität zurückleitet, was eine Entdeckung *Schönbein's* ist. Uebrigens müssen an jeder Station beide Apparate vorhanden sein, um hin und zurück telegraphiren zu können.

2) Die bis jetzt in Gebrauch gekommenen elektrischen Telegraphen sind nach der Beschaffenheit der Zeichenbringer benannt. Ein Telegraph heißt *Nadeltelegraph*, wenn sein Zeichenbringer durch Rechts- und Linksbewegungen einer oder mehrerer Magnetnadeln Zeichen für die Buchstaben giebt — *Zeiger-* oder *Buchstabentelegraph*, wenn sein Zeichenbringer mittelst eines beweglichen Zeigers auf Buchstaben, welche am Rande einer Scheibe stehen, hinzeigt — *Druck-* oder *Schreibtelegraph*, wenn sein Zeichenbringer mittelst eines Stiftes auf einem beweglichen Papierstreifen aus Punkten und Strichen bestehende Zeichen für die Buchstaben macht — ein *Kopirtelegraph* von Bains endlich, wenn sein Zeichenbringer eine Depesche in derjenigen Schrift wiedergiebt, in welcher sie zum Telegraphiren übergeben worden ist. Dieser letzte Telegraph, welcher nicht nur Handschriften, sondern selbst einfache Linearzeichnungen mit der genauesten Uebereinstimmung wird telegraphiren können, bietet bei der Ausführung im Großen noch viele Schwierigkeiten dar; zu den drei übrigen Telegraphen mögen hier folgende Erläuterungen stehen.

3) Die *Nadeltelegraphen* (*Wheatstone*, *Cooke*) haben 3, gewöhnlich 2 oder nur 1 Magnetnadel. Bei der Anwendung dreier Nadeln lassen sich leicht für sämmtliche Buchstaben Zeichen geben, und zwar durch die Ablenkungen der einzelnen Nadeln, rechts und links hin, für sechs Buchstaben — durch die Ablenkungen je zweier nach derselben Seite, rechts oder links hin, wieder für sechs, so wie durch die Ablenkungen je zweier nach entgegengesetzter Seite abermals für sechs — durch die Ablenkungen aller drei nach derselben Seite nur für zwei, so wie durch die Ablenkungen zweier nach der einen und der dritten nach der entgegengesetzten Seite auch für sechs Buchstaben, so daß also $6 + 12 + 8 = 26$ Zeichen entstehen. Zur Hervorbringung der Bewegungen der in besonderen Kästchen mit ihren Multiplikatoren befindlichen Nadeln dient als Zeichengeber ein Tastapparat, eine Vorrichtung aus sechs Tasten, an deren jeder auf der unteren Seite ein kleines Zinkkupferpaar angebracht ist, welches durch Herabdrücken der zugehörigen Taste in die verdünnte Schwefelsäure eines darunter gestellten kleinen Troges eintaucht. Zur 1. Nadel gehört die 1. und 2. Taste, zur 2. die 3. und 4., und zur 3. Nadel die 5. und 6. Taste. Die Enden des 1. Multiplikators sind an das Zink und Kupfer der 1. Taste angelöthet, und (jene Enden Zink- und Kupferenden nennend) vom Kupfer der 2. Taste geht im Tastapparate ein kurzer Verbindungsdraht nach jenem Zinkende, so wie vom Zink dieser 2. Taste ein ähnlicher kurzer Draht nach dem Kupferende des 1. Multiplikators; hieraus folgt, daß durch das Herabdrücken der 1. und 2. Taste entgegengesetzte Ablenkungen der 1. Magnetnadel bewirkt werden müssen.

Dasselbe gilt von der 3. und 4. Taste in Bezug auf die 2. Nadel, so wie von der 5. und 6. Taste in Bezug auf die 3. Nadel. Durch außerhalb der Kästchen des Zeichenbringers zweckmäßig angebrachte Magnete werden, nach welcher Weltgegend hin auch telegraphirt wird, die Magnetnadeln innerhalb der Multiplikatoren erhalten.

In Nordamerika und England sind Doppeltnadel-Telegraphen und Telegraphen mit einer Nadel im Gebrauch. Die nöthigen Zeichen erhält man bei zwei Nadeln, welche vertikal gestellt sind, indem man jede Nadel einzeln oder beide zugleich sich links und rechts ein Mal oder zwei Male oder drei Male bewegen läßt. Hierdurch giebt die erste Nadel durch ihre Linksbewegungen a, b und c an, je nachdem sie sich nur ein Mal oder zwei Male oder drei Male nach links bewegt; auf ähnliche Art durch ihre Rechtsbewegungen d, e, f — eben so giebt nun die zweite Nadel, indem die erste ruht, g, h, i, k, l und m an — sodann die erste Nadel durch eine Links- und darauf folgende Rechtsbewegung n und durch eine Rechts- und darauf folgende Linksbewegung o; auf gleiche Art die zweite Nadel p und q. — Die übrigen Zeichen geben leicht die gleichzeitigen Bewegungen beider Nadeln an. Die Buchstaben y und z läßt man ganz unberücksichtigt.

Bei den Telegraphen mit einer Nadel, welche ebenfalls vertikal innerhalb eines Multiplikators gestellt ist, und deren Achse auf der vorderen Seite des Multiplikators einen die Bewegungen der Nadel mitmachenden Zeiger trägt, erhält man die nöthigen Zeichen durch die Links- und Rechtsbewegungen der Nadel, indem man 1—4 Ablenkungen mit einander verbindet. Auf jeder Seite des Zeigers befindet sich ein Stift, welcher verhindert, daß die Nadel, dort durch den Zeiger aufgehalten, nicht über 25° abweicht; am linken Stift steht I und am rechten V, aus welchen zwei Zeichen, welche also Links- und Rechtsbewegung bedeuten, alle Zeichen für die Buchstaben selbst zusammengesetzt werden, wie aus der folgenden Tabelle näher zu ersehen ist. Je nachdem die Nadel mit einer Links- oder Rechtsbewegung, d. h. mit einem Ausschlage nach I oder nach V anfängt, ist der betreffende Buchstabe auf der am Zeichenbringer befestigten Tabelle links bei I oder rechts bei V zu finden.

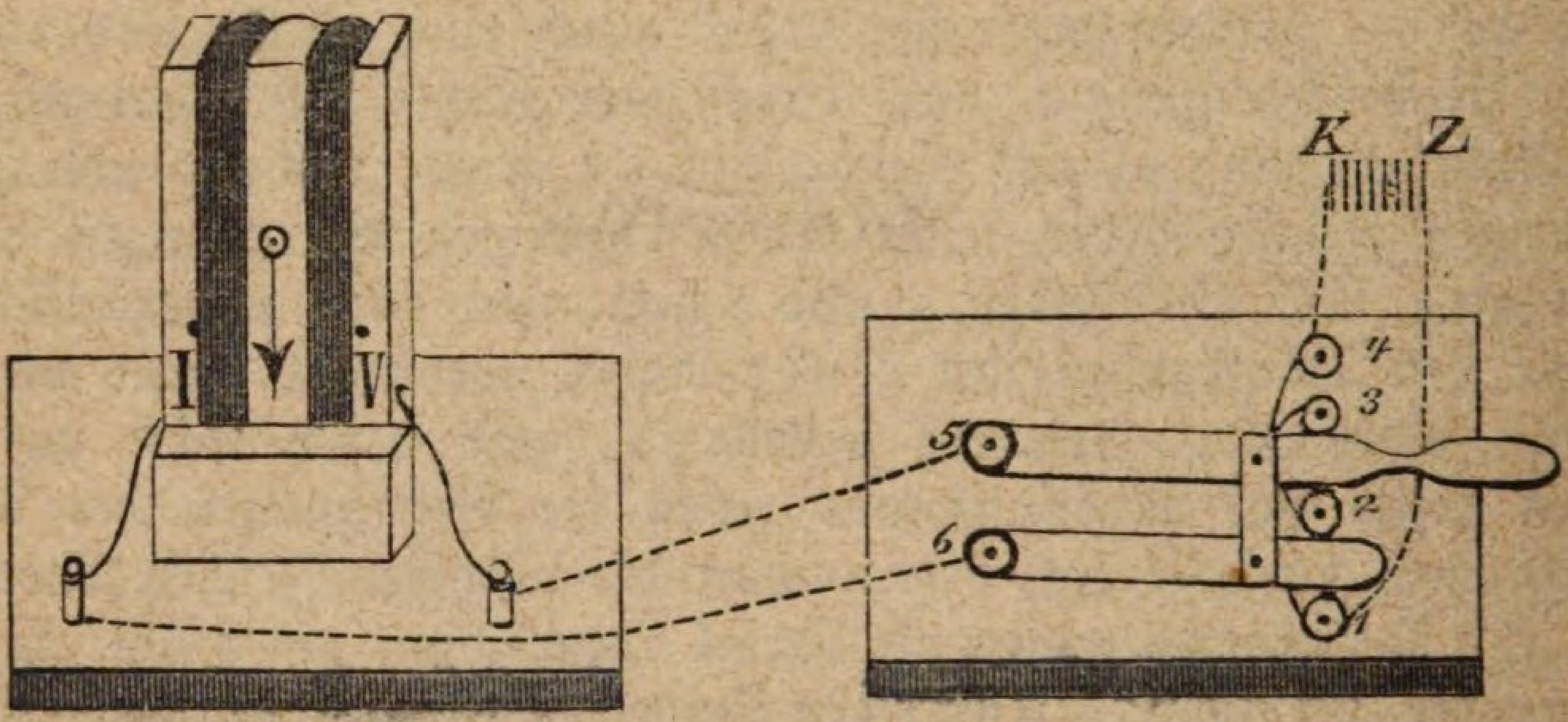
A	I	VI	P
B	II	VII	Q
C	III	VIII	R
D	IIII	VIV	S
E	IV	VIIV	T
F	IIV	VIVI	U
G	IIIV	VVI	V
H	IVI	VVVI	W
I	IVV	VVVI	X
K	IVVI	VIVV	Y
L	IIVI	VVIV	Z
M	IIVV		
N	IVVV		
O	IVIV		

I  V

Der Zeichengeber kann verschieden eingerichtet sein, z. B. wie in Figur 125, bei deren Zeichnung die Ansicht von oben gewählt wurde. Vier Kupfersäulchen 1, 2, 3, 4 stehen auf einem Bretchen senkrecht neben einander, 4 und 1 mit Klemmschrauben zur Aufnahme von Verbindungsdrähten versehen, außerdem 4 mit 2 und 3 mit 1 durch Seitenbogen leitend mit einander verbunden. Auf den ebenfalls mit Klemmschrauben versehenen

Säulchen 5 und 6 ruhen, beweglich eingerichtet, zwei Kupferstreifen, bis etwas über die Enden der Säulchen 1, 2, 3 hinwegreichend, der eine mit einem Griff versehen, beide aber durch ein isolirendes Elfenbeinstäbchen auseinander gehalten. Diesem oberen beweglichen zweiarmigen Theile kann man nun nach Erforderniß eine dreifache Lage geben, nämlich die in der Figur stattfindende, wobei die Arme 2 einschließen, oder eine solche, wo 5 mit 3 und 6 mit 2, oder endlich eine solche, wo 5 mit 2 und 6 mit 1 verbunden werden. Wie im ersten Falle Stromunterbrechung, in den beiden letzten Fällen aber entgegengesetzte Stromrichtungen und dadurch entgegengesetzte Abweichungen der Magnetnadel des Zeichenbringers hervorgebracht werden, ist leicht einzusehen.

Figur 125.

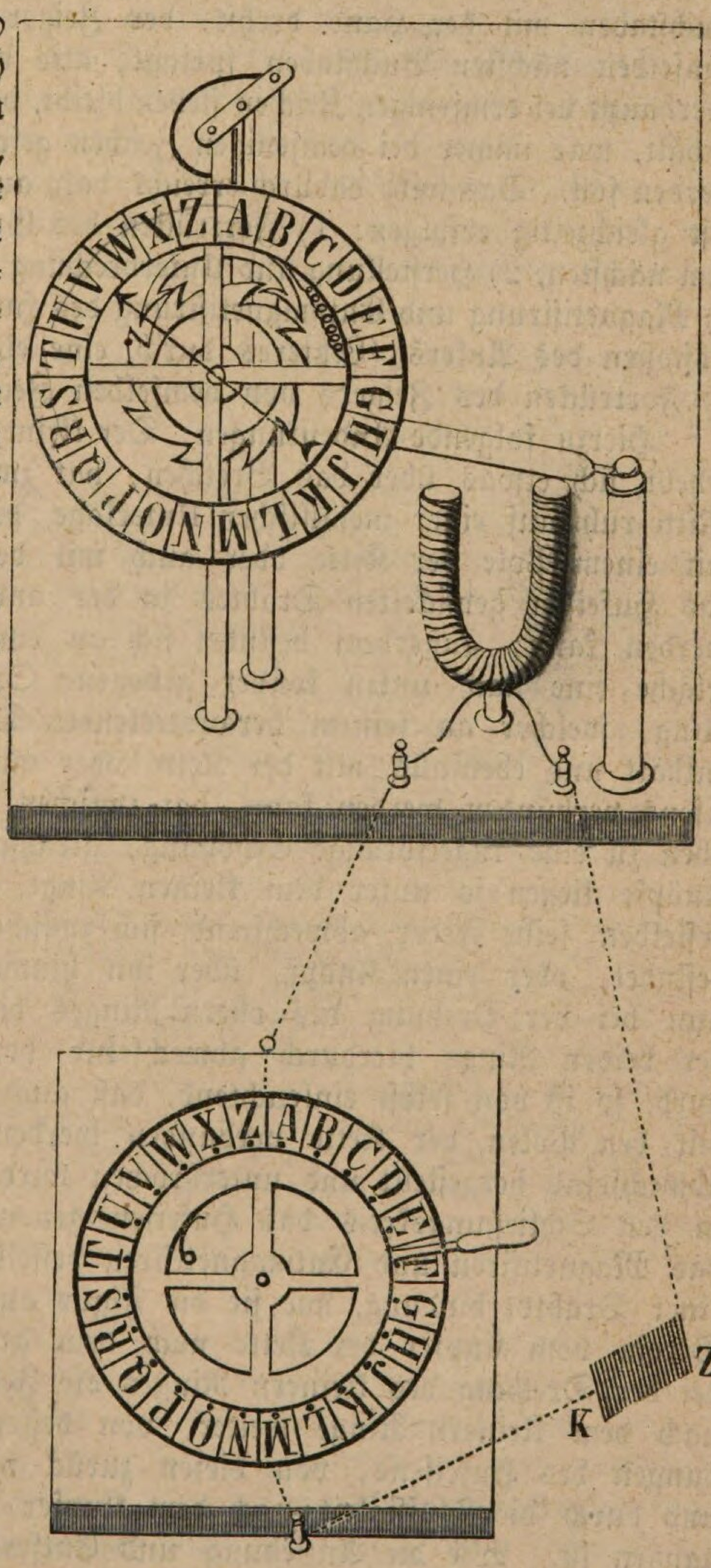


In Oesterreich trifft man auch Telegraphen mit nur einer Nadel. Um die nöthige Anzahl von Zeichen zu erhalten, welche noch nothwendig ist, wenn man mit Vernachlässigung der Orthographie durch dasselbe Zeichen ausdrückt b und p, c und z, d und t, f und v und w, g und k, wird eine akustische Vorrichtung zu Hilfe genommen. Die Nadel oder der Magnetstab trifft, wenn er sich nach der einen oder der andern Seite bewegt, eine Glocke. Die beiden Glocken geben ungleich hohe Töne an, und zwar klingt jeder Ton gedämpft oder hell, je nachdem der Stab an der Glocke nach dem Schlage in Folge eines besonderen Mechanismus eine Zeit lang ruhen bleibt oder sich sofort entfernt. Wird bei der ersten Glocke der helle Ton z. B. mit 1, der gedämpfte mit 2, bei der zweiten der helle mit 5, der gedämpfte mit 6 bezeichnet, und kombinirt man diese 4 Töne zu zweien, wie folgt: 11, 12, 15, 16—21, 22, 25, 26—51, 52, 55, 56—61, 62, 65, 66, so erhält man die immer durch zwei Glockenschläge angegebenen Zeichen für die 16 Buchstaben, a, b, c, d, e, f, g, h, i, l, m, n, o, r, s und u.

4) Die Zeiger- oder Buchstabentelegraphen (Wheatstone [1840], Siemens, Halske) beruhen auf der auch in größeren Entfernungen stattfindenden augenblicklichen Magnetisirung des weichen

Eisens mittelst des elektrischen Stromes. Beim Zeichenbringer in Figur 126 unterscheiden wir 1) eine senkrecht stehende Kreisscheibe oder einen Kreisring, der in gleiche Theile getheilt ist, die mit den Buchstaben des Alphabets und nach Erforderniß auch mit Ziffern und anderen Zeichen versehen sind, auf welche ein beweglicher Zeiger gerichtet ist, 2) ein zum Elektromagneten eingerichtetes Hufeisen, endlich 3) ein Räderwerk, welches den Zeiger mit dem Anker des Hufeisens verbindet und so beschaffen ist, daß die Bewegung des Ankers nach und von den Polen des Elektromagneten eine Kreisbewegung des Zeigers hervorbringt. Der Zeichengeber dagegen besteht 1) aus einer kräftigen galvanischen Kette, und 2) aus einem senkrecht aufgestellten Metallringe mit genau denselben Buchstaben ꝛc., wie der Metallring beim Zeichenbringer, und mit von jedem Zeichen in der Erweiterung der Ringfläche liegenden Sprossen, oder auch, wie wir uns hier denken wollen, aus zwei auf einem Bretchen ruhenden, ungleich großen, horizontal übereinander liegenden Metallringen, von denen der kleinere über dem größeren mittelst eines Griffes bewegt werden kann, der größere aber auf seinem heraustretenden Rande jene Buchstaben ꝛc. enthält. So wie dort der Zeiger nach jedem Zeichen durch das Räderwerk hin gerichtet

Figur 126.



werden kann, so kann hier dem kleineren Ringe mittelst der Hand die Drehung gegeben werden, daß sein nach außen heraustretender Griff über jedes Zeichen zu stehen kommen kann. Das Telegraphiren beruht auf der Ausführung folgenden Gedankens: Stelle Griff und Zeiger auf denselben Buchstaben und mache, daß, indem Du den Griff zum nächsten Buchstaben mit der Hand drehst, der Zeiger auf seiner Scheibe zu demselben nächsten Buchstaben springt, also bei fortgesetzter Drehung überhaupt bei demjenigen Zeichen stehen bleibt, bei welchem man den Griff anhält, was immer bei demjenigen Zeichen geschieht, welches signalisirt werden soll. Das wird dadurch erreicht, daß, aus einander hervorgehend, fast gleichzeitig erfolgen: 1) Fortrücken des Griffes von einem Zeichen zum nächsten, 2) Herstellung und Unterbrechung des elektrischen Stromes, 3) Magnetisirung und Entmagnetisirung des Hufeisens, 4) Anziehen und Abstoßen des Ankers (Letzteres durch eine elastische Feder befördert), 5) Fortrücken des Zeigers von demselben Zeichen zum nächsten.

Hierzu folgende Andeutungen: Der kleine Ring des Zeichengebers erhebt sich etwas über das Bretchen, hat zwei Diameter, und seine Mitte ruht auf einer metallischen Unterlage, die mittelst eines Drahtes mit einem Pole der Kette oder auch mit dem einen Ende des um das Hufeisen gewickelten Drahtes in der andern Station verbunden werden kann; außerdem befindet sich an einer Stelle seiner untern Fläche eine nach unten konvex gebogene Stahlfeder. Der größere Ring, welcher an seinem heraustretenden Theile die Buchstaben ꝛc. enthält und ebenfalls mit der Kette oder mit dem Drahte des Hufeisens verbunden werden kann, hat zwischen je zwei Buchstaben nach oben zu eine kugelförmige Erhöhung, gleichsam einen Knopf. Diese Knöpfe liegen so unter dem kleinen Ringe, daß bei der Bewegung desselben seine Feder abwechselnd sich zwischen zwei solchen Knöpfen befindet, oder einen Knopf, über ihn hinweggehend, berührt. Da nun bei der Drehung des obern Ringes die metallische Berührung der beiden Ringe hierdurch abwechselnd hergestellt und aufgehoben wird, so ist von selbst einleuchtend, daß auch, wenn die beiden Ringe mit den Polen der Kette verbunden werden, der elektrische Strom abwechselnd hergestellt und unterbrochen wird — so wie auch, wenn in den Schließungskreis das Hufeisen genommen wird, abwechselnd das Magnetisiren und Entmagnetisiren desselben eintreten muß. Bei einer Drahtverbindung, wie sie die Figur angiebt, geht der elektrische Strom vom Kupfer der Kette nach dem großen Ringe, und wenn bei der Drehung des kleinern Ringes die Feder einen Knopf berührt, nach dem kleinern Ringe weiter, von dessen Mitte nach den Windungen des Hufeisens, von diesen zurück nach dem Zink der Kette und durch die Flüssigkeit nach dem Kupfer, von welchem er ausgegangen ist. Wie die Anziehung und Entfernung des Ankers an die Pole des Magneten und von denselben die Kreisbewegung des Zeigers, der sich an der Achse eines gezahnten Rädchens befindet, mittelst Hebels, elastischer Federn ꝛc. bewirkt wird, wird durch die Ansicht

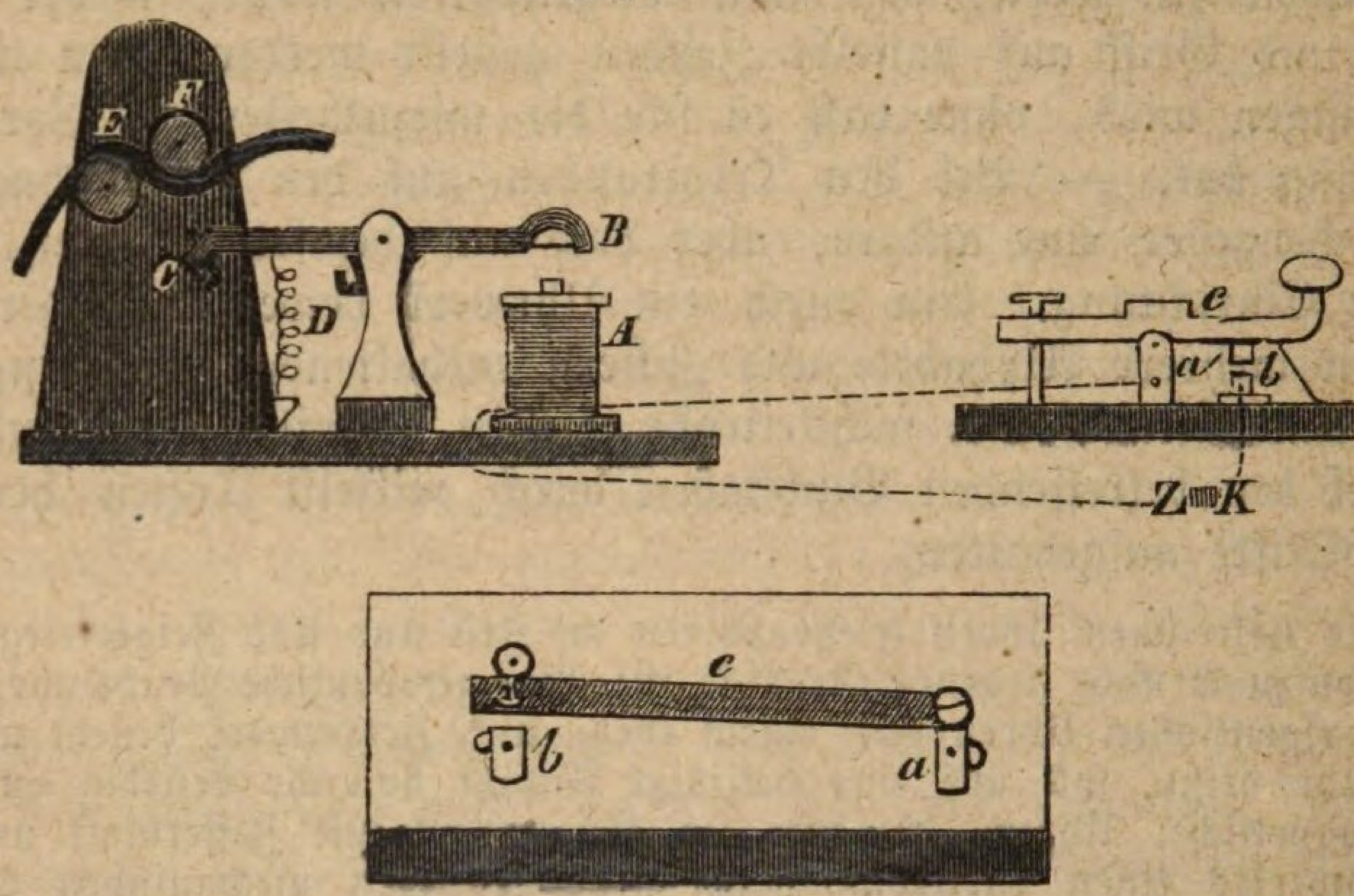
des Instruments am leichtesten klar. Eben so die Vorrichtung, um mittelst einer Glocke am Zeichenbringer, die durch das Instrument selbst vom Orte des Zeichengebers aus zum Klingen gebracht wird, das Zeichen zu geben, daß man telegraphiren wolle, wobei immer Zeiger und Griff auf dasselbe Zeichen gestellt werden, von welchem ausgegangen wird, ohne daß es für die mitzutheilenden Worte eine Bedeutung hat. — Bei den Telegraphen auf den Eisenbahnen hat der Zeichengeber eine andere, aber doch auf demselben Prinzipe beruhende Einrichtung. Ein durch ein Uhrwerk bewegter Zeiger läuft über den mehrere Alphabete und Ziffern enthaltenden Kreisring, der abwechselnd leitende und nichtleitende Stellen hat, ihn berührend, und wird bei den betreffenden Buchstaben durch mittelst Tasten heraufgedrückte Stifte aufgehalten.

Die elektrischen Uhren telegraphiren die Zeit und sind Zeigertelegraphen. Der ihnen zu Grunde liegende Gedanke ist: Eine gewöhnliche Pendeluhr, welche wie alle eigentlichen Uhren aus einem Geh- und Zeigerwerk besteht und hier Normaluhr heißt, soll auf eine beliebige Anzahl von ihr beliebig entfernter elektromagnetischer Uhren, die nur ein Zeigerwerk mit Zifferblatt und statt des Gehwerkes einen Elektromagneten nebst sonstigen mechanischen Vorrichtungen besitzen, ihren Gang genau übertragen. Die Normaluhr ist der Zeichengeber, die elektrische Uhr der Zeichenbringer. Dieser ist im Allgemeinen eingerichtet wie beim gewöhnlichen Zeigertelegraphen, nur daß das Zifferblatt am Scheibenrande die Zeiteintheilung statt der Buchstaben hat. Die Normaluhr, welche mit einer galvanischen Batterie verbunden wird, besitzt eine Vorrichtung zur Stromunterbrechung. Geschieht diese Sekunde für Sekunde, so muß auch der Zeiger in je einer Sekunde einen Sprung machen und ist dann ein Sekundenzeiger, mit dem sich nach mechanischen Regeln ein Minuten- und ein Stundenzeiger verbinden lassen. Werden bei einem mit einem Uhrwerke versehenen Metronome, welches Sekunden schlägt und statt der Normaluhr gebraucht wird, zwei Klemmschrauben für die Leitungsdrähte angebracht, die eine isolirt, die andere mit dem Räderwerke metallisch verbunden, und an der Scheibe des in die Achse des Pendels eingreifenden Rades, welches in einer Minute einen Umlauf macht, zwei Stifte in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte und einander diametral gegenüberstehend, so wie endlich von der isolirten Klemmschraube eine Feder so heraufgeführt, daß die zwei Stifte über dieselben, sie berührend, hinweggehen können, so erfolgt nach je 30 Sekunden bei stattgefundener Drahtverbindung eine Schließung und Oeffnung der Batterie, was zur Folge hat, daß der Zeiger nach je einer halben Minute fortrückt, nach 120 Sprüngen also einen Umlauf vollendet, wodurch auch die Anzahl der Zähne seines Rades bestimmt wird. Bei richtigem Gange der Normaluhr gehen auch alle mit ihr verbundenen elektromagnetischen Uhren richtig. — Steinheil. —

5) Der Druck- oder Schreibtelegraph (Wheatstone, Steinheil, Morse) hat einen etwas zusammengesetzteren Zeichenbringer. In demselben wird ein Stahlstift herunter- und heraufbewegt, welcher auf einem seiner Spitze zugewendeten und gleichzeitig fortgezogenen Papierstreifen durch eine augenblickliche Berührung einen Punkt, durch eine länger andauernde Berührung aber einen Strich eindrückt. Der Zeichenbringer hat daher einen Theil, welcher die Bewegung des Stifts bewirkt, und einen zweiten Theil, welcher den etwa einen Zoll breiten Papierstreifen fortschiebt; jenes geschieht durch

elektromagnetische, dieses durch mechanische Kraft. Wir unterscheiden bei dem ersten Theile in nächster Figur 127 den Elektromagneten A,

Figur 127.



seinen Anker B an dem rechten Arme eines zweiarmigen Hebels, dessen linker Arm hier den Schreibstift C trägt und mit der Feder D verbunden ist. Der zweite Theil besteht aus den beiden Walzen E und F auf der Seite des Stifts, welche durch ein Räderwerk in Bewegung gesetzt werden, und welche vereint den zwischen ihnen liegenden Papierstreifen über dem Stifte fortschieben. Wird E seitwärts unter F angebracht, so wird der Papierstreifen unter F und über E fortgezogen; die Spitze des Stiftes muß dann nach unten gerichtet sein, weshalb der Elektromagnet auf den linken und die Feder auf den rechten Hebelsarm wirken muß. Der Zeichengeber besteht wieder aus einer galvanischen Batterie und einem Stromunterbrecher, dem Schlüssel, der gewöhnlich die Form einer Thürklinke hat, aber auch folgende einfache Gestalt für Schulexperimente haben kann. Zwei metallene mit Klemmschrauben zur Aufnahme von Drähten versehene Säulchen a und b erheben sich über einem Bretchen, darüber liegt ein fester Metallstreifen c, mit dem einen Ende an das Säulchen a festgeschraubt und mit dem andern zum Anfassen mit einem Knopfe versehen, über dem zweiten Säulchen b, dem Amboß, schwebend, so aber, daß es herabgedrückt mit diesem Säulchen in Berührung kommt. Werden nun K und b und die Windungen des Elektromagneten einerseits mit a, andererseits mit Z leitend verbunden, so wird bei jedem Niederdrücken des Schlüssels bis zum Amboß der elektrische Strom hergestellt, bei der darauf folgenden Entfernung aber unterbrochen. Erhält nun auch gleichzeitig der Papierstreifen seine Bewegung, so entsteht bei einem nur augenblicklichen Andrücken des Schlüssels an den Amboß auch nur ein augenblicklicher Strom, ein schnell auf einander folgendes Magnetisiren und Entmagnetisiren des Hufeisens, ein schnell auf ein=

ander folgendes Herab- und Heraufgehen des Stiftes und dadurch ein Punkt auf dem Papierstreifen; bei etwas längerem Andrücken des Schlüssels an den Amboß entsteht auch ein länger andauernder Strom, ein länger andauernder Magnetismus des Hufeisens, ein länger andauerndes Andrücken des Stiftes auf dem fortrückenden Papierstreifen und dadurch auf demselben eine Linie. Bei offener Kette ist Stromunterbrechung vorhanden, daher das Hufeisen unmagnetisch, der Anker in Ruhe, der Stift entfernt vom fortrückenden Papierstreifen und daher auf diesem eine Lücke, die kürzer oder länger gemacht wird, je nachdem sie Buchstaben oder Wörter von einander trennt. Die Zeichen sind folgende:

A . —	F . . — .	L . — . .	Q — — . —	V . . . —
B — . . .	G — — .	M — —	R . — .	W . — —
C — . — .	H	N — .	S . . .	X . . — . . .
D — . .	I . .	O . — . . .	T —	Y — — . . .
E .	K — . —	P	U . . —	Z . — — . .

Um auf sehr große Entfernungen zu telegraphiren, wird am Orte des Zeichenbringers eine Batterie aufgestellt, welche man Hilfs- oder Lokalbatterie nennt und durch welche der Elektromagnet des Zeichenbringers in Thätigkeit gesetzt wird, während der Zeichengeber nur die Aufgabe hat, die Lokalbatterie abwechselnd zu schließen und zu öffnen. Dazu ist aber ein vermittelnder Apparat nöthig, der gleichsam die Schließung und Oeffnung der Batterie am Zeichengeber überträgt auf die Lokalbatterie, neben welcher er aufgestellt wird; er heißt daher der Uebertrager oder das Relais. Er verrichtet sein Geschäft mittelst eines Elektromagneten.

Der Drucktelegraph übertrifft den Zeigertelegraphen an Geschwindigkeit und Sicherheit, ist für größere Entfernungen brauchbar (zur telegraphischen Verbindung Europa's mit Amerika wurde das atlantische Kabel 27. Juli 1866 in Trinitaty-Bai auf New-Foundland vollendet); es lassen sich durch ihn in einer Minute 100 Buchstaben telegraphiren, während durch den Zeigertelegraphen nur 20, bei welchem die durch lange Drähte sehr geschwächte Elektrizität oft den Elektromagneten nicht kräftig genug zu machen im Stande ist, so daß er die nöthigen Bewegungen nicht hervorbringen kann. Das Telegraphiren mit den Zeigertelegraphen ist dagegen am leichtesten. Die Nadeltelegraphen bedürfen nicht so kräftiger Elektrizität als die anderen. — Durch Versuche mit Telegraphen ist die von Wheatstone ermittelte Geschwindigkeit der Elektrizität — 62000 Meilen in der Sekunde — bestätigt worden.

III. Induktionselektrizität.

224. Unter Induktionselektrizität versteht man diejenige Elektrizität, welche in geschlossenen Drähten entweder durch einen elektrischen Strom eines benachbarten Leiters oder durch einen Magneten erzeugt wird. Da ein Magnet und ein elektrischer Strom in einer geschlossenen Drahtspirale dasselbe, nämlich einen elektrischen Strom, hervorbringen, so spricht diese Thatsache für die in § 221 ausgesprochene Ansicht, daß der Magnet ein Körper sei, der von elektrischen Strömen

umkreiset wird. Sehr merkwürdig ist der Umstand, daß ein elektrischer Strom nur in den Augenblicken seines Entstehens und seines Aufhörens einen elektrischen Strom zu erzeugen fähig ist, so wie der Magnet nur in den Augenblicken seines Hineinschiebens in die Spirale und seines Herausziehens aus derselben, jener also nie während seiner Dauer und dieser nie während seiner Ruhe in der Spirale. Die so erzeugten elektrischen Ströme selbst dauern nur einen Augenblick; es kann daher ein lang andauernder Strom nur dadurch hervorgerufen werden, daß man eine Menge solcher momentaner Ströme so schnell auf einander folgen läßt, daß sie sich gleichsam unmittelbar an einander schließen.

1. Elektrische Induktion.

(Volta-Induktion.)

225. a. Wenn man nach Faraday um einen Holzzylinder zwei gleiche, mit Seide umsponnene Kupferdrähte von 100 Fuß und mehr Länge windet, die Enden des einen mit dem Multiplikator, die des anderen aber mit einer starken Volta'schen Kette verbindet, so strömt zwar die in der Kette entstandene Elektrizität nur durch den mit ihr verbundenen Draht, aber dennoch entsteht auch ein elektrischer Strom in dem anderen neben ihm fortlaufenden, nicht mit der Kette verbundenen Drahte, denn die Magnetnadel im Multiplikator geräth in Schwankungen, und zwar sowohl bei der Herstellung, als auch bei der Unterbrechung der Schließung der Kette, jedoch nach entgegengesetzten Seiten, nie aber während der bestehenden Schließung. Von dem Strome nun, welcher in dem zum Multiplikator führenden Drahte durch die Nähe des den Verbindungsdraht der Kette durchlaufenden Volta'schen Stromes hervorgebracht wird, sagt man, er sei durch Induktion entstanden; er heißt der induzirte oder sekundäre Strom, auch der Nebenstrom, während der ihn erregende der induzirende oder primäre Strom, auch der Hauptstrom genannt wird. Da bei der Oeffnung der Kette die Abweichung der Magnetnadel entgegengesetzt ist der bei der Schließung stattfindenden, so haben die in diesen Momenten entstehenden Nebenströme auch entgegengesetzte Richtungen, und vergleicht man die Abweichungen der Nadel, welche diese Nebenströme hervorbringen, mit denen des Hauptstromes, so ergiebt sich, daß der Schließungs-Nebenstrom in Bezug auf den Hauptstrom die entgegengesetzte, der Oeffnungs-Nebenstrom aber dieselbe Richtung hat. Faraday denkt sich, daß durch den induzirenden Strom in dem unelektrischen Leiter, wie durch Vertheilung, zwei Ströme entstehen, von welchen der eine angezogen und unwirksam gemacht, während der andere in entgegengesetzter Richtung abgestoßen wird, und daß jener frei wird, wenn durch Oeffnung der Kette der induzirende Strom vernichtet wird. Es entsteht auch ein Nebenstrom, wenn dem Schließungsdrahte ein geschlossener Leiter schnell

genähert und von ihm entfernt wird. — Jeder induzirte Strom kann selbst wieder einen neuen Strom induziren, so daß man induzirte Ströme erster, zweiter, dritter ꝛc. Ordnung unterscheiden kann.

Statt beide Drähte neben und über einander auf denselben Holzzylinder zu wickeln, kann man auch jeden Draht über einen besonderen Zylinder wickeln, den Hauptdraht über einen dünnern, den Nebendraht über einen weitern und zugleich hohlen, so daß dann der dünnere bequem in die Höhlung des weitern hineingesteckt und aus demselben herausgezogen werden kann. Wird nun der Hauptdraht mit der Kette verbunden, so wird Einstecken, Herausziehen und Ruhenlassen des dünneren Zylinders im weitern genau dasselbe bewirken, was vorhin das Schließen, Oeffnen und Geschlossenhalten der Kette.

Um eine andauernde Wirkung der Nebenströme, welche nur eine augenblickliche Dauer haben, hervorzubringen, ist es nothwendig, den Hauptstrom oft und schnell hintereinander zu unterbrechen, wodurch sich die beim Schließen und Oeffnen der Kette entstehenden augenblicklichen Nebenströme an einander reihen. Zu diesem Behufe schaltet man in den Verbindungsdraht der Kette einen Stromunterbrecher ein, z. B. Neef's Blitzrad, oder auch ein mittelst einer Kurbel leicht zu bewegendes Messingrädchen, dessen Messingachse in messingenen Ständern ruht und so eingeschaltet wird, daß einerseits ein Ständer und andererseits eine auf dem Holzgestelle befestigte und mit ihrem freien Ende die Zähne des Rädchens berührende Feder in die leitende Verbindung kommt; während der Bewegung des Rädchens finden die Unterbrechungen des Hauptstromes statt, indem die Feder von einem Zahne zum andern springt. Auch mit einer Feile kann man sich behelfen.

b. Auch erstreckt sich die induzirende Kraft des elektrischen Stromes nicht blos auf benachbarte geschlossene Leiter, sondern sogar wunderbarer Weise auf den Leiter, den er selbst durchläuft. Wenn nämlich durch einen Leiter ein elektrischer Strom geführt und sodann unterbrochen wird, so zeigt sich in diesem Leiter ein Nebenstrom von der Richtung des Hauptstromes; er wird von Faraday Extrastrom, von andern Physikern auch Gegenstrom genannt. Der Leiter verhält sich also gegen sich selbst, wie gegen einen benachbarten zweiten Leiter; es ist, wie wenn er der Länge nach getheilt und der eine Theil der Träger des Hauptstromes, der andere aber des Nebenstromes wäre. Dabei bemerkt man, daß die Wirkung beim Schließen der Kette viel schwächer als beim Oeffnen derselben ist, was nur daher kommen kann, daß dort die beiden Ströme entgegengesetzte, hier aber dieselbe Richtung haben, dort sich also wechselseitig schwächen, hier aber sich verstärken.

Auf dem Extrastrom beruht die Erscheinung, daß eine einfache Kette, durch einen kurzen Draht geschlossen, beim Oeffnen nur einen schwachen, durch einen langen spiralförmig gewundenen aber geschlossen, einen lebhaften Funken giebt — und daß man dem entsprechend, wenn man kurze Poldrähte, selbst mit befeuchteten Händen und größern daran befestigten Metallstücken anfaßt,

keine Erschütterung beim Oeffnen der Kette empfindet, dagegen beim Gebrauch spiralförmig gewundener Drähte eine heftige. Man kann annehmen, daß jede Windung der Spirale in den benachbarten Windungen Ströme induzirt, beim Schließen der Kette entgegengesetzte, beim Oeffnen aber gleichgerichtete.

Um die elektrische Erschütterung des Extrastromes zu erhalten, braucht man nur den einen Pol der Batterie mit dem einen Ende der Spirale, den andern mit dem Stromunterbrecher, und diesen mit dem andern Ende der Spirale zu verbinden und Nebendrähte mit Handhaben einerseits zwischen Batterie und Spirale, andererseits zwischen Stromunterbrecher und Spirale anzubringen, so daß sich also Batterie und Stromunterbrecher zwischen den Nebendrähten befinden.

226. a. Die Friktionselektrizität ist zwar weniger geeignet zur Erzeugung von Nebenströmen als die Kontaktelektrizität, indessen läßt sich diese Erscheinung auch bei ihr nachweisen und zwar durch Entladung einer Leidener Flasche oder einer aus solchen Flaschen zusammengesetzten Batterie mittelst eines in einer Ebene spiralförmig gewundenen Kupferdrahtes, wenn sich ein zweiter mit übereinstimmenden Windungen ihm möglichst nahe so befindet, daß die Windungen beider Spiralen genau über oder neben einander zu liegen kommen. Ist die zweite Spirale die Nebenspirale, welche von der ersten, der Hauptspirale, bei horizontaler Lage durch eine dünne Glasscheibe getrennt oder wie diese bei senkrechter Lage auf einer Holzscheibe befestigt ist, an ihren Enden mit Handhaben versehen, so empfindet man bei jedesmaliger Entladung der Flasche durch die Hauptspirale eine Erschütterung und bei hinlänglicher Annäherung der Enden der Nebenspirale werden auch Funken sichtbar. Rieß hat aus der Uebereinstimmung der Lichtenberg'schen Figuren, welche man einerseits erhält, wenn man Drähte von den beiden Belegungen der Flasche nach einem Harzkuchen führt, und andererseits, wenn man hierzu den Nebenstrom anwendet, geschlossen, daß der Nebenstrom gleiche Richtung mit dem Hauptstrome hat. Der Nebenstrom muß die Folge des Aufhörens, nicht des Entstehens des Hauptstromes sein, da das Aufhören des letzteren so außerordentlich schnell auf sein Entstehen folgt, daß der beim Entstehen hervorgerufene entgegengesetzte Nebenstrom sich nicht bemerkbar machen kann.

b. Daß bei der Entladung der Leidener Flasche durch eine solche Spirale in dieser auch ein Extrastrom entsteht, hat Dove nachgewiesen. Die Enden der Spirale treten zu diesem Behufe in längern freien Drahtstücken heraus, an welche kurze Nebendrähte mit Handhaben angelöthet sind, wodurch die Spirale zwischen die Nebendrähte zu liegen kommt. Wird die Flasche entladen, so empfindet man, die Handhaben haltend, eine Erschütterung, welche nicht stattfindet, wenn die Nebendrähte sich an demselben Ende der Spirale befinden, also diese außerhalb jener liegt. Der Hauptstrom wird, wie auch die Nebendrähte mit den Handhaben angebracht sein mögen, nicht empfunden, weil er dem bessern Leiter folgt; der in der Spirale entstandene

Nebenstrom aber wird, wenn sie sich zwischen den Nebendrähten befindet, genöthigt, durch den Körper zu gehen.

2. Magnetische Induktion.
(Magneto-Induktion.)

227. 1) Wie eine Volta'sche Kette mittelst des durch den Leitungsdraht gehenden elektrischen Stromes die Magnetnadel des Multiplikators bewegt (§ 220), so geschieht das auch, nach Faraday's 1831 gemachter Entdeckung, wenn in einen schraubenförmig gewundenen Leiter, dessen Enden mit dem Multiplikator gehörig verbunden sind, ein Magnet etwa zur Hälfte mit dem einen Ende gesteckt und wieder herausgezogen wird, oder wenn, was dasselbe ist, ein so gewundener Draht über dem Pol bis zur Mitte des Magneten gesteckt und weggezogen wird — was ein Beweis ist, daß der Magnet in dem geschlossenen Drahte elektrische Ströme erzeugt, und daß mithin durch Magnetismus Elektrizität hervorgebracht werden kann. Man nennt die durch Magnetismus hervorgebrachte Elektrizität Magnetoelektrizität, so wie alle dahin gehörigen Erscheinungen magnetoelektrische.

2) Der magnetoelektrische Fundamentalversuch läßt sich einfach so darstellen: Man windet einen etwa 30 Ellen langen, mit Seide umsponnenen Kupferdraht um einen hölzernen Hohlzylinder und läßt seine beiden Enden, oben und unten, in 2 bis 3 Fuß langen Stücken frei, welche die Poldrähte heißen mögen. Werden nun die Enden dieser Poldrähte in metallischen Kontakt mit den Enden des Multiplikators gebracht, so weicht, wenn hierauf ein Stabmagnet in den Hohlzylinder, also auch in den Schraubendraht, schnell herabgelassen wird, die Magnetnadel sichtbar ab, z. B. nach Westen; läßt man den Magnetstab darin liegen, so werden die Schwingungen der Nadel immer kleiner und hören endlich ganz auf; wird hierauf der Stab herausgezogen, so weicht die Nadel abermals ab, aber nach der entgegengesetzten Seite, also nach Osten. Wird dieses Experiment mit der anderen Hälfte des Magnetstabes wiederholt, so zeigen sich die Abweichungen der Magnetnadel umgekehrt, also beim Hineinschieben nach Osten und beim Herausziehen nach Westen. Werden die Verbindungen der Drähte umgekehrt, so sind beim Gebrauch derselben Pole der Stäbe auch die Abweichungen der Nadel umgekehrt, so wie sie genau dieselben sind, wenn man mit der Umkehrung der Drahtverbindungen auch den Gebrauch entgegengesetzter Pole verbindet. Ist die Verbindung, um einen bestimmten Fall zu nehmen, von der Art, daß das Multiplikatorende, welches mit dem oberen Poldrahte verbunden ist, zuerst in dem oberen Theile des Multiplikators von Norden nach Süden geht, und wird der Stabmagnet mit dem herabwärts gehaltenen Nordpole in den vertikal stehenden Schraubendraht gesteckt, so

weicht die Magnetnadel nach Westen ab und beim Zurückziehen nach Osten — also gerade so, wie wenn dasselbe Multiplikatorende zuerst mit dem Zink, dann mit dem Kupfer der einfachen Volta'schen Kette verbunden wäre. Wird die Verbindung der Poldrähte mit den Multiplikatorenden umgekehrt, so zeigen die beim Hineinschieben und Zurückziehen des Nordpols des Stabmagneten stattfindenden entgegengesetzten Abweichungen der Magnetnadel auch entgegengesetzte Richtungen der nun entstandenen elektrischen Ströme an, gerade wie wenn das vorhin nach dem Zink gehende Multiplikatorende jetzt mit dem Kupfer, und das vorhin nach dem Kupfer gehende Ende jetzt mit dem Zink der Volta'schen Kette verbunden worden wäre.

Wird der Südpol des Stabes gebraucht, so ist bei der ursprünglichen Verbindung der Drähte die Abweichung beim Hineinschieben östlich, beim Zurückziehen westlich, bei der Umkehrung der Drahtverbindungen aber zuerst westlich, dann östlich. — Aus diesen Abweichungen der Magnetnadel, welche das Vorhandensein und die Richtung elektrischer Ströme angeben, ziehen wir folgende Folgerungen: 1) Ein elektrischer Strom im Schraubendrahte und dadurch auch im Multiplikator entsteht nur beim schnellen Hineinschieben oder Zurückziehen des einen Poles (bei der Annäherung und Entfernung desselben), nie aber, wenn man ihn darin ruhen läßt. — 2) Bei derselben Verbindung der Drähte bringt jeder Pol beim Entfernen einen Strom hervor, dessen Richtung entgegengesetzt ist der Richtung des beim Annähern entstandenen Stromes. — 3) Bei derselben Verbindung der Drähte bringen Nordpol und Südpol, wenn sie beide hineingeschoben oder beide zurückgezogen werden, Ströme entgegengesetzter Richtung, wenn aber der eine hineingeschoben und der andere zurückgezogen wird, Ströme derselben Richtung hervor. — 4) Entgegengesetzte Ströme werden aber auch durch gleichnamige Pole erzeugt, sowohl beim Hineinschieben, als auch beim Zurückziehen, wenn die Verbindung der Drähte entgegengesetzt ist, so wie Ströme von gleicher Richtung auch durch ungleichnamige Pole hervorgebracht werden, wenn bei entgegengesetzter Verbindung der Drähte beide hineingeschoben oder beide zurückgezogen werden.

Verstärkungen der Schwingungen: a. durch wiederholtes Hineinschieben und Zurückziehen, so oft die Nadel innerhalb des Multiplikators ist, b. durch zwei Stabmagnete, welche mit gleichnamigen Polen gleichzeitig hinein- und herausbewegt werden, c. durch zwei Stabmagnete, deren ungleichnamige Pole benutzt werden, indem man sie abwechselnd hinein- und herausbewegt. Eben so ist durch Bewegung des Stabes in den Schraubendraht und aus demselben Schwächung und Stillstand der in Schwingungen gebrachten Magnetnadel zu bewirken.

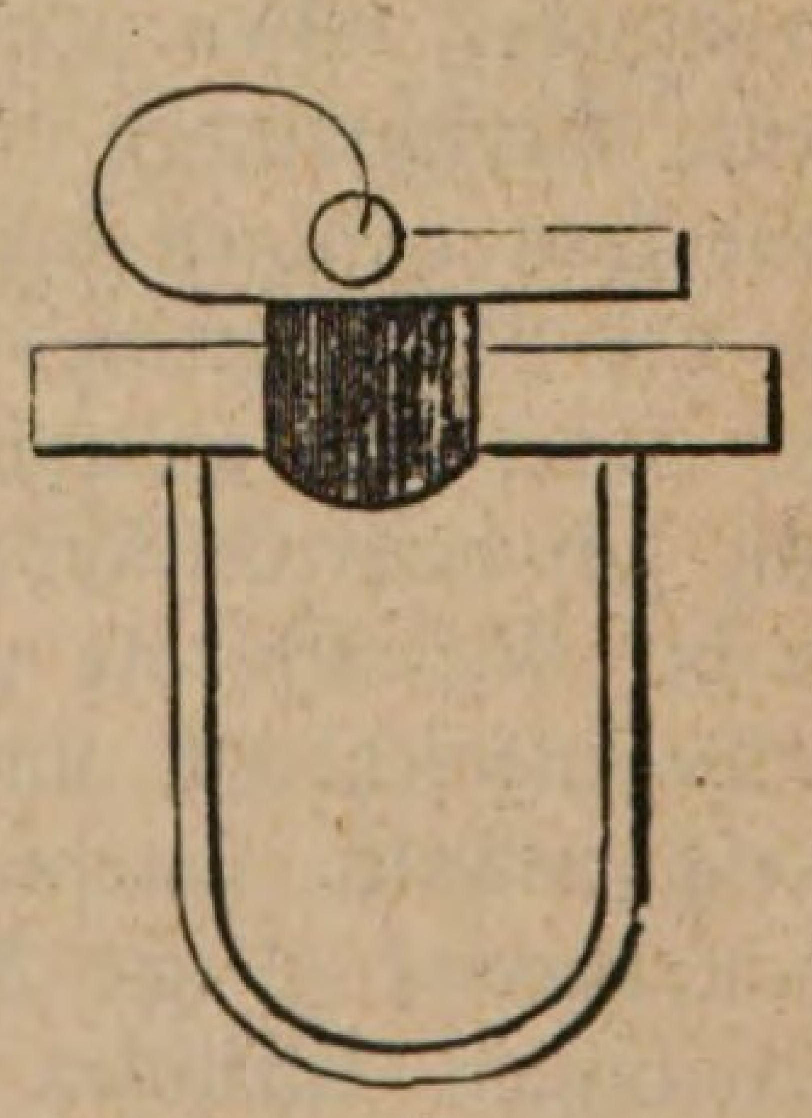
Werden die Drähte des Multiplikators und des Schraubendrahtes nicht in unmittelbare Berührung gebracht, sondern auf gehörige Art mittelst des Gyrotropen verbunden, so läßt sich die Umkehrung der Ströme durch die Umlegung des Biegels genau so zeigen, wie beim Gebrauche der Volta'schen Kette oder Säule. Diese magnetoelektrischen

Versuche, verglichen mit denen in § 225, veranlassen die Annahme, daß der Magnet der Träger des Hauptstromes ist wie dort die Hauptspirale, und die Spirale der Träger des Nebenstromes wie dort die Nebenspirale.

Der elektromagnetische Telegraph, bei welchem Multiplikatoren angewendet werden, wird zu einem magnetoelektrischen, wenn die Enden der Multiplikatoren-Drähte, statt mit galvanischen Ketten, mit Schraubendrähten verbunden und dann Magnete in der angegebenen Art angewendet werden.

228. 1) In Bezug auf den Erfolg ist es offenbar ganz gleich, ob in einen Schraubendraht ein Magnetstab schnell hineingeschoben und herausgezogen wird, oder ob sich ein Zylinder aus weichem Eisen darin ruhend befindet und in diesem auf irgend eine Weise schnell Magnetismus erregt wird, und er dessen wieder schnell beraubt wird. Nobili windet um den aus weichem Eisen bestehenden Anker eines Hufeisenmagneten den Draht und verbindet seine Enden mit dem Multiplikator, wodurch sich bei jedem Anlegen und Abnehmen des Ankers die Abweichungen der Magnetnadel zeigen. Der Hufeisenmagnet, der auch ein Elektromagnet sein kann, verwandelt den Anker beim Anlegen in einen Magneten, und dieser bringt, indem er es wird, in dem um ihn gewundenen Drahte den elektrischen Strom hervor, welcher aber verschwindet während des Anliegens; beim Abreißen des Ankers, wodurch dieser seinen Magnetismus verliert muß ein elektrischer Strom entgegengesetzter Richtung in Bezug auf den beim Anlegen entstehen. Es giebt verschiedene Anordnungen dieses Versuches, wobei magnetische Funken durch die im Drahte erregte Elektrizität zum Vorschein kommen; sie beruhen alle darauf, daß die Leitung der bei der Anlegung und beim Abreißen des Ankers im Drahte entstandenen Elektrizität plötzlich unterbrochen wird. Eine der einfachsten giebt nach Strehlke und Faraday Figur 128 an. Um einen Anker ist in dessen Mitte ein mit Seide umsponnener Kupferdraht mehrfach umwunden, dessen eines Ende ein horizontales, amlagamirtes oder fein polirtes Kupferplättchen trägt, während das andere in Verbindung steht mit einer gebogenen Stahlfeder, die mit ihrer von oben herabkommenden Spitze dieses Plättchen sanft berührt. Wird nun dieser so eingerichtete Anker an einen starken Stahlmagneten oder Elektromagneten angelegt, und hierauf von dem einen Fuße losgerissen, angelegt und wieder losgerissen ꝛc., wobei immer die durch das Anlegen und Losreißen bewirkte Erschütterung eine augenblickliche Entfernung jener Spitze von dem Plättchen zur Folge hat, so sieht man über diesem an der Stelle, wo eine Trennung, also eine Unterbrechung des induzirten elektrischen Stromes stattfand, die Elektrizität als Funken. Wenn man aber, während der Anker anliegt, die Spitze

Figur 128.



mit der Hand von dem Plättchen entfernt, so zeigt sich, dem Fundamentalversuche genau entsprechend, durchaus kein Funken.

Die Elektrizität der den Anker umgebenden Spirale zeigt sich als solche nicht blos durch den Funken, sondern auch auf jede andere Art. Wie Kupfer und Zink, mit Muskel und Nerven eines Froschpräparats verbunden, in diesem heftige Zuckungen hervorbringen, so geschieht das auch, wenn die beiden Enden der Spirale mit Muskel und Nerven verbunden und der Anker vom Magneten abgerissen wird. Wie wir bei der Entladung der Leidener Flasche oder der Volta'schen Säule Erschütterungen empfinden, so geschieht das auch, wenn wir beim Gebrauche recht kräftiger Magnete größere, mit den Enden der Spirale verbundene Metallstücke berühren. Endlich zeigt auch die Magnetoelektrizität chemische Wirkungen; denn, werden die Enden der um den Anker liegenden Spirale mit den Platindrähten eines Wasserzersetzungsapparates verbunden, so können hierdurch das Wasser und andere Flüssigkeiten in ihre Bestandtheile zersetzt werden.

2) Wird eine Drahtspirale, in welcher sich ein Zylinder oder ein Drahtbündel aus weichem Eisen befindet, mit einer zweiten weitern Spirale umgeben und wird die erstere mit einer Volta'schen Kette verbunden, die letztere aber irgend wie geschlossen, z. B. durch einen eingeschalteten Multiplikator, so entsteht bei wiederholter Herstellung und Unterbrechung des Hauptstromes eine Verbindung elektrischer und magnetischer Induktion und dadurch eine Verstärkung der induzirten Elektrizität. Die Hauptspirale, d. i. die innere engere, den Eisenkern einschließende Spirale wirkt durch den galvanischen Strom einerseits nach außen auf die Nebenspirale, d. i. die äußere weitere Spirale, Ströme induzirend, und andererseits gleichzeitig nach innen, den Eisenkern magnetisirend. Die Hauptspirale bringt aber in der Nebenspirale auf zwei Arten Nebenströme hervor, nämlich zuerst durch den Hauptstrom, bei dessen Entstehen und Verschwinden und dann durch den beim Verschwinden des Hauptstromes entstehenden Extrastrom; der Eisenkern dagegen bringt, indem er Magnetismus erhält und verliert, in der Nebenspirale ebenfalls Ströme hervor, welche mit denen in ihr durch den Hauptstrom unmittelbar erzeugten übereinstimmen, so daß sich beim Entstehen des Hauptstromes zwei gleichgerichtete Ströme in der Nebenspirale vereinigen, deren Richtung der des Hauptstromes entgegengesetzt ist, und beim Verschwinden desselben sich ebenfalls zwei gleichgerichtete vereinigen, die aber viel stärker sind und mit dem Hauptstrome gleiche Richtung haben. Der Wirkung der beiden letzten vereinigten kräftigen Ströme tritt schwächend entgegen der in der Hauptspirale beim Aufhören des Hauptstromes entstehende Extrastrom, welcher in der Nebenspirale, da er mit dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, einen diesen Strömen entgegengesetzten Strom erzeugt, dessen nachtheilige Wirkung indessen durch Ableitung beseitigt werden kann. Statt zwei getrennte Spiralen zu brauchen, kann man auch zwei

neben einander laufende Drähte um einen hölzernen Hohlzylinder wickeln und in dessen Höhlung einen Eisenkern bringen.

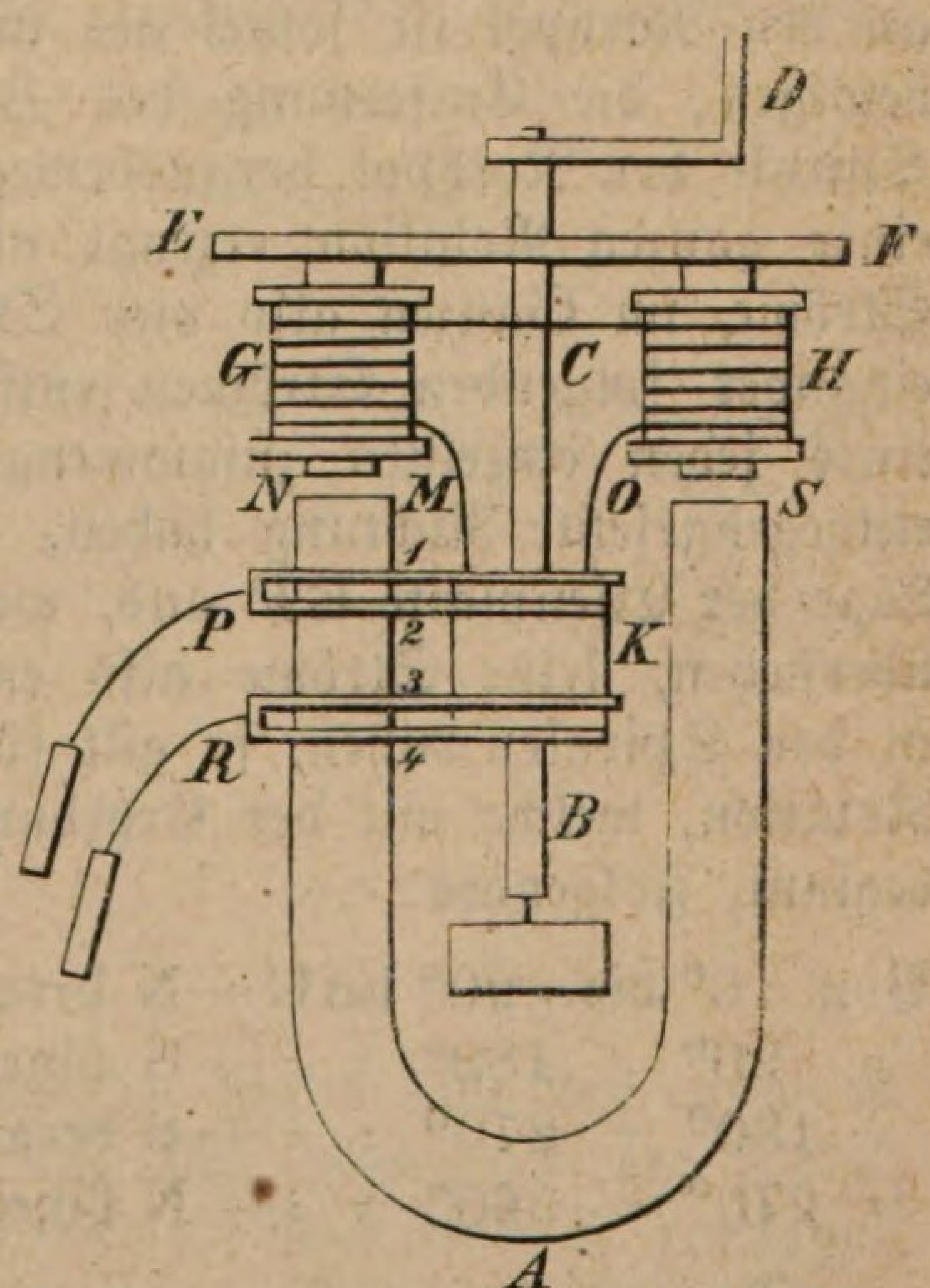
3. Induktionsapparate.

229. Man unterscheidet Induktionsapparate, in denen die elektrischen Ströme nur durch magnetische, und solche, in denen sie durch elektrische und magnetische Induktion erregt werden; jene, welche man gewöhnlich magnetoelektrische Rotationsapparate nennt, haben vor diesen, den Apparaten mit doppelten Strömen, welche den Gebrauch der Batterie erfordern, den Vorzug, daß die Anwendung von Säuren nicht stattfindet.

1) Zu Stöhrer's einfachstem Rotationsapparat mögen hier folgende erklärende Andeutungen stehen.

a. Die wesentlichsten Theile in Figur 129 sind: NAS ein kräftiger Stahlmagnet, N sein Nordpol, S sein Südpol, zwischen den Füßen des Magneten und außerhalb derselben hervortretend die Achse BC, welche durch einen über zwei ungleich große Scheiben angebrachten Schnurlauf, wofür hier stellvertretend die Kurbel D steht, in schnelle Umdrehung gebracht werden kann. Die Achse trägt an ihrem äußern Theile die Eisenplatte EF, in welcher zwei Zylinder aus weichem Eisen, umgeben von den zwei aus einem einzigen zusammenhängenden Drahte bestehenden Induktionsspiralen G und H, sich in solcher Entfernung von einander befinden, daß die Enden der Zylinder bei stattfindender Rotation genau und dicht vor den Magnetpolen vorbeikommen; die Achse trägt ferner auf ihrem innern Theile den Stromkommutator K, welcher einerseits mit den Enden M und O des die beiden Spiralen bildenden Induktionsdrahtes in unveränderliches, andererseits mit den gabelförmig gespaltenen Stahlfedern P und R, welche als die Pole des Apparates zu betrachten sind, in veränderlicher Art leitend verbunden ist. Der Kommutator besteht aus zwei auf der Achse angebrachten, durch eine Buchsbaumröhre isolirten messingenen Röhren, von denen die innere länger als die äußere ist und deshalb an den beiden Enden hervortritt; mit der innern ist das Drahtende O, mit der äußern das Drahtende M verbunden. An den Enden jeder Röhre sind zwei stählerne sich so gegenüberstehende Halbringe, daß,

Figur 129.



wenn sie zu ganzen Ringen vervollständigt würden, diese neben einander liegen würden, bei der innern Röhre z. B. a und b, bei der äußern c und d; es reichen b und c von 0°—180°, a und d von 180°—360°. Die gabelförmig gespaltenen Stahlfedern P und R schleifen mit ihren Schenkeln 1, 2, 3, 4 auf diesen Halbringen und zwar durch eine halbe Peripherie 1 und 3 auf a und d, durch die zweite 2 und 4 auf c und b, was die genaue Ansicht des Instruments selbst am besten deutlich macht.

b. Bei stattfindender Rotation der Induktionsspiralen geht die entstandene kräftige Elektrizität immer in derselben Richtung durch den zwischen den Stahlfedern P und R selbst oder zwischen den an den Stahlfedern befestigten Drähten eingeschalteten Körper und bringt nach Beschaffenheit desselben alle Wirkungen hervor, welche wir bei den Batterien kennen gelernt haben. Diese Rotationsapparate bewirken wie die galvanischen Säulen kräftige Schläge, bedeutende Licht- und Wärmeerzeugung, Schmelzen und Glühen von Metallen, Glühen der Kohle, Zersetzung des Wassers und anderer Stoffe, Erzeugung von Elektromagneten u. s. w.

c. Daß das Instrument bei seiner auf dem Faraday'schen Fundamentalversuche beruhenden Konstruktion einen elektrischen Strom von unveränderlicher Richtung bei der leitenden Verbindung von P und R giebt, läßt sich vollständig so übersehen: Die Eisenzylinder werden beim Vorübergehen vor jedem Pole durch Vertheilung magnetisch und verlieren darauf den Magnetismus; die Annäherung eines Zylinders an den Nordpol ist soviel als in seine Spirale den Nordpol hineinbewegen, die Entfernung des Zylinders aber soviel, als aus der Spirale den Nordpol herausbewegen; eben so beim Südpol. Während einer ganzen Rotation erzeugt also jeder Pol in jeder Spirale zwei Ströme, im Ganzen also vier Ströme, wodurch vier Paare von aufeinander folgenden Strömen entstehen in der Art, daß die Ströme eines jeden einzelnen zusammengehörigen, d. i. gleichzeitigen Paares entgegengesetzte Richtung haben. Gehen wir von der horizontalen Lage der Eisenplatte EF aus, wo die Eisenzylinder den Polen gegenüberstehen, keine Ströme also entstehen, weil die Magnete gleichsam in den Spiralen ruhen, so gilt für die vier Quadranten einer solchen Rotation, welche mit der Erhebung von G und der Senkung von H beginnt, Folgendes:

Von	0°	bis	90°	bei G—N heraus	und	gleichzeitig	bei	H—S heraus,
=	90°	=	180°	= =—S hinein	=	=	=	=—N hinein,
=	180°	=	270°	= =—S heraus	=	=	=	=—N heraus,
=	270°	=	360°	= =—N hinein	=	=	=	=—S hinein.

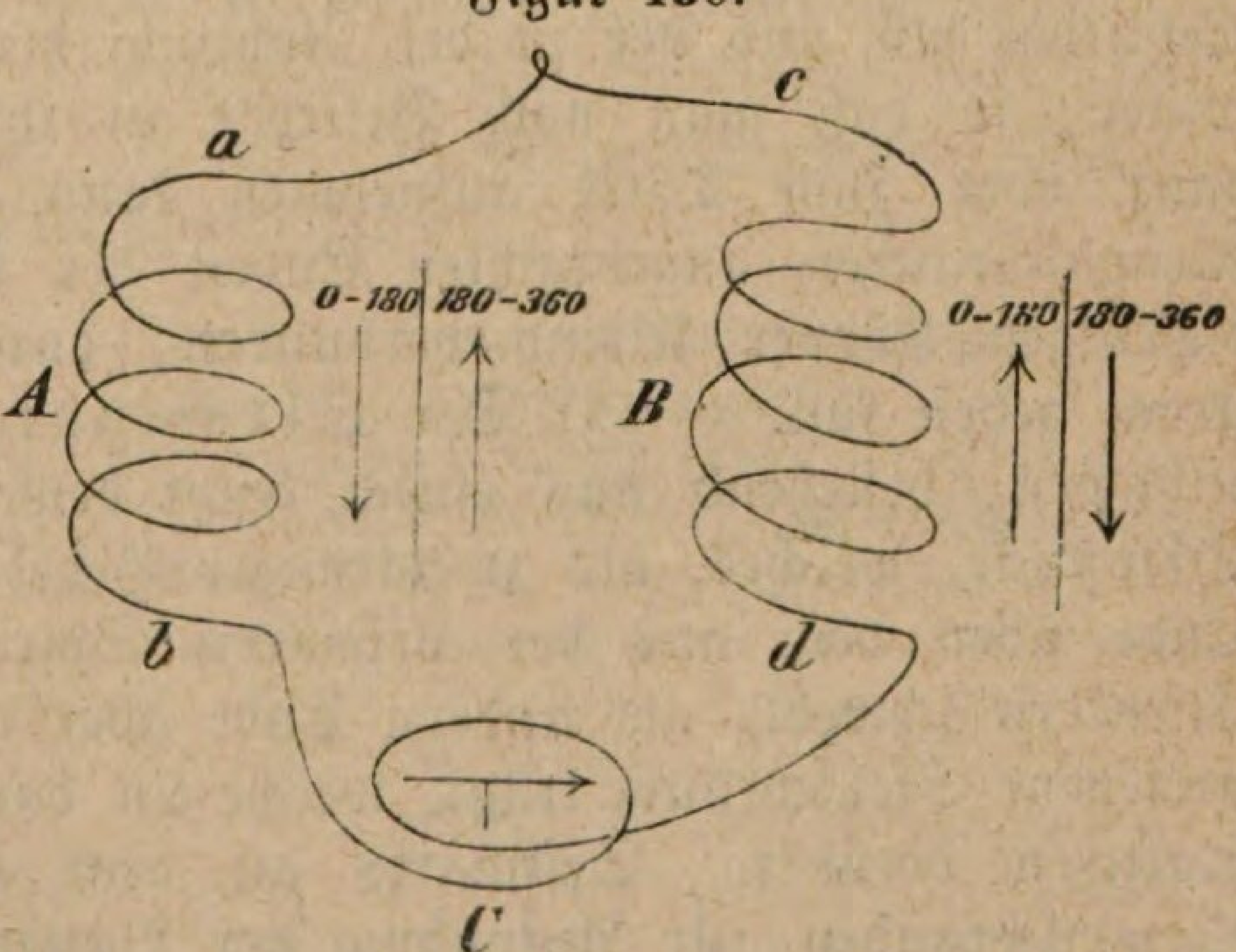
Da nun immer die entgegengesetzten Pole gleichsam dieselbe Bewegung gleichzeitig machen, nämlich beide in ihre Spiralen oder beide heraus, so entstehen in den gleichgewundenen Spiralen jedesmal elek-

trische Ströme von entgegengesetzter Richtung, also bei der Rotation von 0°—360° vier Paare von aufeinander folgenden entgegengesetzten Strömen von der Dauer einer Viertelkreisbewegung, welche sich zunächst von selbst in zwei Paare von aufeinander folgenden entgegengesetzten Strömen von der Dauer einer Halbkreisbewegung vereinigen, denn:

Rolle G.			Rolle H das Umgekehrte.
0°— 90° N heraus 90°—180° S hinein	giebt dieselbe Stromrichtung, z. B. →	I	II ←
180°—270° S heraus 270°—360° N hinein	giebt wieder dieselbe Stromrichtung, aber der in 0°—180° entgegengesetzt, also ←	III	IV →

Diese zwei Paare entgegengesetzter Ströme, nämlich I und II, so wie III und IV werden durch die Art der Aufwindung der Spiralen in zwei einzelne aufeinander folgende entgegengesetzte Ströme von der Dauer einer Halbkreisbewegung umgewandelt, indem II die Richtung von I, IV die von III erhält, was die Figur 130 verdeutlicht. A und B stellen die beiden Spiralen vor, deren Windungen in gleicher Richtung fortgehen; werden die Enden a und c miteinander verbunden und eben so die Enden b und d, so vereinigt sich jedes Paar gleichzeitiger entgegengesetzter Ströme zu einem einzigen Strome in der einen von den zwei ursprünglichen Richtungen; die Ströme von 0°—180° so, daß sie durch b in den bei C eingeschalteten Multiplikator eintreten, die von 180°—360° so, daß sie durch d in denselben eintreten. Bei einer Vereinigung der Spiralenden b und c einerseits, a und d andererseits, würden die Ströme entgegengesetzter Richtung in den vereinigten Spiralen ihre Richtungen behalten und sich also aufheben. Statt zwei Spiralen von gleich gerichteten Windungen in dieser Art zu verbinden, können beide aus einem einzigen langen Drahte gewunden werden, wenn man in Figur 129 das Ende M freilassend, die Windungen für G heraufführt, dann oben den Draht von der hinteren Seite nach der vorderen Seite von H fortführt, die Windungen hierauf herunterführt und das Ende O freiläßt. Hiernach wird in unserem Apparate der eine Strom durch M, der andere durch O in den Kommutator eintreten, welcher die Aufgabe hat, diese

Figur 130.



zwei aufeinander folgende entgegengesetzte Ströme in gleichgerichtete Ströme zu verwandeln, so daß also während der andauernden Rotation die elektrischen Ströme durch den zwischen den Stahlfedern P und R eingeschalteten Körper immer dieselbe Richtung behalten. Aus der angegebenen Einrichtung der Stahlringe auf den messingenen Röhren des Kommutators und der gabelförmigen Stahlfedern geht hervor, daß dieselbe Stahlfeder durch eine Zinke den einen elektrischen Strom von der einen Röhre und darauf durch die andere Zinke den elektrischen Strom von der anderen Röhre des Kommutators erhält, weshalb die elektrische Strömung von dieser Zinke zur andern durch den eingeschaltetem Körper stetig fortgeht.

Um behufs physiologischer Wirkungen plötzliche Unterbrechungen des Stromes hervorzubringen, gehen die Stahlringe etwas über die Hälfte heraus; die Stahlfedern stehen nämlich in Folge dessen einen Augenblick mit beiden Messingröhren des Kommutators in Verbindung und die Elektrizität geht nicht durch den Körper, sondern durch das besser leitende Metall, bis bei weiterer Bewegung wieder jede Stahlfeder nur mit einer Messingröhre in Verbindung kommt.

2) a. Zu Stöhrer's Induktionsapparat mit einer Batterie werden folgende kurze Angaben hinreichend sein. Außer der Batterie, die eine beliebige sein kann, unterscheidet man 1) die primäre Spirale aus dickerm Drahte und wenigen Windungen für den galvanischen Strom, also den primären oder Hauptstrom, inwendig mit einem eisernen Stabe, und in einem auf einem Bretchen festgemachten Holzklötzchen, oben mit einem Ende in horizontaler Lage befestigt. — 2) Die sekundäre Spirale aus dünnerem Drahte und sehr vielen Windungen zur Erzeugung der sekundären oder Nebenströme; sie ist auf einem besondern hohlen Holzzylinder gewickelt und auf einem Schlitten hin und her in der Richtung der primären Spirale zu bewegen, so daß man nach Belieben in ihre Höhlung diese Spirale ganz oder zum Theil aufnehmen kann. Mit den in besonderen Klemmschrauben angebrachten Enden der sekundären Spirale werden diejenigen Körper leitend verbunden, durch welche der Induktionsstrom gehen soll. — 3) Der Stromunterbrecher zu (1) auf dem Klötzchen, bestehend aus einem leicht beweglichen vierkantigen flachen Eisenstücke, welches, als zweiarmiger Hebel unterstützt, mit dem einen Ende über dem aus der primären Spirale etwas heraustretenden Eisenkern schwebt, am andern Ende aber eine mit einer Platinaspitze versehene Stellschraube trägt, welche ein darunter befindliches Platinaplättchen berührt. Seitwärts an dem Klötzchen befinden sich die Klemmschrauben zur Aufnahme der Batteriedrähte. Das eine Ende der primären Spirale steht in Verbindung mit der einen Klemmschraube, das andere geht durch das Klötzchen nach dem Platinaplättchen, von welchem bei stattfindender Berührung desselben mit der Stellschraube die Elektrizität durch diese, den Eisenhebel und dessen Ständer zur zweiten Stellschraube fortgeleitet wird. Wird nun die Batterie geschlossen, so wird augenblicklich der Eisenkern ein Elektro-

magnet, dessen hervortretendes Ende den eisernen Hebel (Hammer) anzieht, wodurch die Stellschraube von dem Platinablättchen entfernt und mithin der Strom unterbrochen wird. Das hat aber wieder zur Folge, daß der Eisenkern seinen Magnetismus verliert und daher den Hammer losläßt, welcher, indem seine Stellschraube am andern Ende herabsinkend das Platinablättchen wieder berührt, den Strom herstellt u. s. w.

b. Der von Stöhrer verbesserte Ruhmkorff'sche Induktionsapparat, welcher Elektrizität in großer Menge und von beträchtlicher Spannung entwickelt, beruht auf denselben Prinzipien. Er hat eine senkrechte Hauptrolle für den primären Strom, bestehend aus zwei gleichen Drähten in mehreren Lagen, und innerhalb ein Eisendrahtbündel enthaltend — ferner eine Induktionsrolle, bestehend aus drei einzelnen Rollen übereinander, welche mittelst abnehmbarer Verbindungsdrähte zu einem Ganzen vereinigt werden — einen Stromunterbrecher, bestehend aus einem besonderen Elektromagneten, einem Hebel, Stift und Platinablättchen — einen Kondensator, bestehend aus zwei 8 bis 10 Fuß langen und 10 Zoll breiten Streifen aus Stanniol, in mehrere durch Wachstaffet getrennte Schichten gelegt, welcher die Bestimmung hat, den in der Hauptrolle entstehenden Extrastrom aufzunehmen und so seine nachtheilige Wirkung auf die in der Induktionsrolle wirkenden Ströme zu verhindern (§ 228, 2) — und endlich einen Entlader, bestehend aus zwei isolirten Metallstäben, die mit mehreren Klemmschrauben zur Aufnahme der Enden der Induktionsrolle und etwaiger Schließungsdrähte, so wie mit einer Vorrichtung zur Hervorrufung eines Funkenstromes versehen sind. — Zu den schönsten Experimenten mit diesem Instrumente gehört die Hervorbringung des farbigen elektrischen Schichtenlichtes im luftverdünnten Raume (elektrisches Ei) und in mit verschiedenen Gasarten gefüllten Glasröhren (Geisler'sche Röhren).

Auf elektrischen Strömen, welche ein Magnet in Metallscheiben durch Induktion hervorbringt, beruhen die Erscheinungen des sogenannten Rotationsmagnetismus, über den hier nur Folgendes stehen mag: 1) Versetzt man eine Magnetnadel zuerst unter gewöhnlichen Umständen in Schwingungen, dann aber über einer ruhenden Metallscheibe, so zeigt sich, besonders wenn es eine Kupferscheibe ist, daß diese auf die Bewegung jener hindernd einwirkt; denn die Weite der Schwingungen nimmt auffallend stark ab, ohne daß in der Dauer der Schwingung ein deutlicher Unterschied eintritt. 2) Eine rotirende Kupferscheibe bringt eine über sie gestellte ruhende Magnetnadel in Rotation, selbst wenn sie zur Abhaltung der Luftbewegung durch eine Glastafel von einander getrennt sind. 3) Ein rotirender Hufeisenmagnet bringt umgekehrt eine über ihm freihängende Kupferscheibe in Rotation. Arago 1825, Herschel, Babbage (§ 197).

Durch Einschnitte in die Scheibe, vom Mittelpunkte nach der Peripherie hin, wird die vollkommene Ausbildung der elektrischen Ströme verhindert. — Auch die Erscheinungen des Diamagnetismus (§ 196, 3) beruhen vielleicht auf in den Körpern durch die Annäherung an die Magnetpole induzirten elektrischen Strömen in der Art, daß in den eigentlich magnetischen Körpern

Ströme derselben Richtung, in den diamagnetischen dagegen Ströme entgegengesetzter Richtung in Bezug auf die Ströme der Magnetpole entstehen.

IV. Thermoelektrizität.

230. 1) Seebeck machte 1822 die Entdeckung, daß zwei verschiedenartige Metalle, durch Zusammenlöthen mit einander etwa zu einem Viereck verbunden, magnetisch werden, wenn die eine Hälfte dieser Verbindung erwärmt, während die andere erkältet wird, überhaupt wenn Hälften von ungleicher Temperatur entstehen. Die durch Wärme hervorgebrachten magnetischen Erscheinungen heißen thermomagnetische, so wie der Inbegriff derselben Thermomagnetismus. Da man aber annimmt, daß durch die Wärme eigentlich elektrische Ströme entstehen, und erst diese den Metallen die magnetische Eigenschaft geben, so nennt man auch alle hierher gehörenden Erscheinungen thermoelektrische, so wie den Inbegriff derselben die Thermoelektrizität.

2) Zu Seebeck's thermoelektrischem Fundamentalversuche löthet man Streifen aus Kupfer und Wismuth, oder aus Kupfer und Antimon so zu einem Rektangel zusammen, daß das Wismuth oder Antimon eine lange Seite, das Kupfer aber die übrigen drei Seiten bildet. Wird nun eine Löthstelle erwärmt, so weicht eine innerhalb aufgestellte Magnetnadel ab. Die Wärme der Fingerspitzen bewirkt schon eine kleine Abweichung, die einer Spirituslampe aber in kurzer Zeit eine Ablenkung von 50 bis 80 Graden. Indem man dabei die erhaltenen Abweichungen mit denen der Volta'schen Kette, in welcher der elektrische Strom vom negativen Metalle (Kupfer) durch den Schließungsdraht zum positiven Zink geht, vergleicht, läßt sich bestimmen, welches der beiden Metalle bei der Erwärmung negativ, welches positiv elektrisch wird, d. h. welches sich wie Kupfer und welches sich wie Zink in der Volta'schen Kette verhält. Der Seebeck'sche Fundamentalversuch läßt sich vollständig so anstellen: a) Ist das Viereck aus Wismuth und Kupfer, hält man die Wismuthseite nach unten (Figur 131, 1) und erwärmt die nach Süden liegende Löthstelle, so weicht die Magnetnadel westlich ab; der elektrische Strom geht also in der erwärmten Stelle vom Wismuth nach dem Kupfer, das Wismuth ist also negativ und das Kupfer positiv elektrisch geworden — wird die nach Norden liegende Löthstelle erwärmt, oder das Viereck so umgewendet, daß die erwärmte südliche Löthstelle nach Norden zu liegen kommt, so ist zwar die Abweichung östlich, aber die Folgerung hinsichtlich der Richtung des Stromes und der Elektrizität der Metalle ist dieselbe. Wird die Wismuthseite des Vierecks nach oben gehalten, so ist die Abweichung im ersten Falle östlich, im zweiten westlich. b) Wird in irgend einer dieser Lagen des Vierecks die eine Stelle durch Wasser oder Eis

erkaltet, so ist die Abweichung immer entgegengesetzt derjenigen, welche bei Erwärmung dieser Stelle in derselben Lage stattfand, weil die nicht erkaltete Löthstelle die relativ warme ist. c) Wird die eine Stelle erwärmt und gleichzeitig die andere erkaltet, so ist in Folge der größeren Temperaturdifferenz auch die Wirkung größer.

Besteht das Viereck aus Antimon und Kupfer, so zeigen die Abweichungen der Magnetnadel, daß der elektrische Strom in der erwärmten Stelle vom Kupfer nach dem Antimon geht, also Kupfer negativ, und Antimon positiv elektrisch wird; sind endlich die beiden Elemente dieses Vierecks Wismuth und Antimon, so sind die Abweichungen, mithin auch die Stromstärke, viel größer, und Wismuth zeigt sich als das negativ, Antimon als das positiv elektrische Metall. Der Erfolg dieser Versuche läßt sich so versinnlichen:

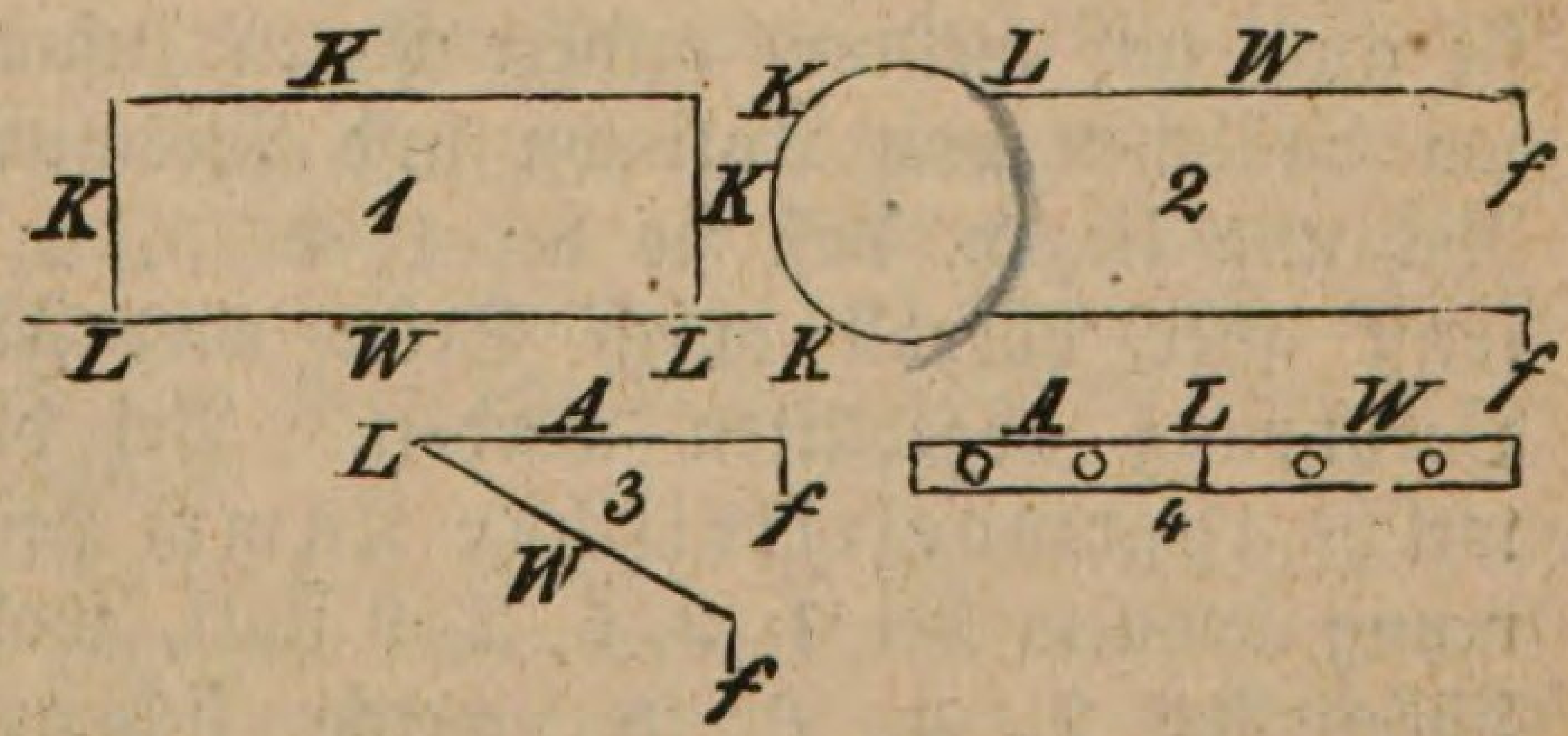
— (Wismuth ↓) —
↓ Kupfer ±
+ Antimon ↓) +

Auch bei Vierecken aus einem einzigen Metalle, an dem einen oder dem anderen Ende erwärmt, zeigt sich Thermoelektrizität.

3) Die thermoelektrische Spannungsreihe, welche die Metalle in solcher Anordnung angiebt, daß bei der Erwärmung jedes in Verbindung mit den folgenden negativ, mit den vorhergehenden aber positiv elektrisch wird, und zwar desto stärker elektrisch, je weiter die beiden Metalle auseinander sind, ist nach Seebeck folgende: (—) Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin (reines), Uran, Kupfer (ganz reines), Mangan, Titan, Messing, Dukatengold, Kupfer (gewöhnliches), Quecksilber, Blei, Zinn, Platin (Jeanetty's), Chrom, Molybdän, Kupfer (gemeines), Rhodium, Iridium, Gold, Silber, Zink, Cämentkupfer, Wolfram, Platin, Kadmium, Stahl, Eisen (reines), Arsenik, Antimon, Tellur (+).

4) Nennen wir zwei zusammengelöthete verschiedenartige Metalle eine thermoelektrische Kette, so können wir, wie bei der Volta'schen Kette, eine geschlossene und offene thermoelektrische oder thermomagnetische Kette unterscheiden, von welchen Figur 131 einige Formen angiebt. Es bedeutet darin K Kupfer, W Wismuth, A Antimon, L Löthstelle, f und f senkrecht angelöthete kurze Stäbchen oder Füßchen, und die kleinen Kreise bedeuten Vertiefungen in dem ziemlich dicken Stabe. Wird durch den Multiplikator, innerhalb dessen sich eine Magnetnadel befindet, und durch den Gyro-

Figur 131.



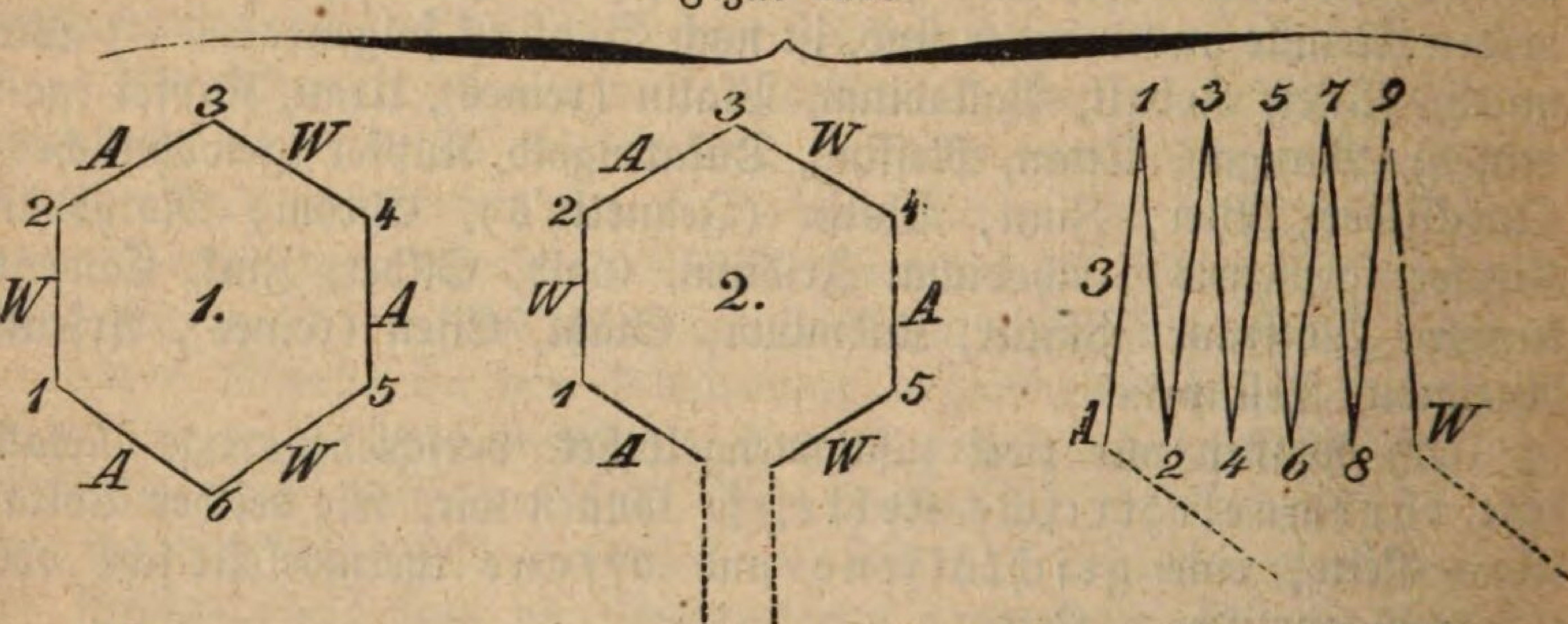
tropen (§ 220, 3) die offene Kette geschlossen, indem die Füßchen f und f in die zugehörigen, mit Quecksilber gefüllten Oeffnungen des Gyrotropen gesteckt werden, so lassen sich auch hier, wie bei der Volta'schen Kette und der magnetoelektrischen Spirale, alle auf der Umkehrung des Stromes beruhenden Erscheinungen hervorrufen.

Für bedeutende Hitzegrade eignen sich thermoelektrische Ketten aus Platin und Eisen; für weniger hohe die wohlfeileren aus Neusilber und Eisen.

231. 1) Wie aus einfachen Volta'schen Ketten die Volta'sche Batterie entsteht, so entsteht auch aus einfachen thermoelektrischen Ketten die thermoelektrische Batterie. Man erhält schon eine solche, wenn mehrere Paare von denselben zwei verschiedenartigen Metallen, z. B. Antimon und Wismuth, in der Ordnung A. W. A. W. u. s. w. an einander in ein Vieleck zusammengelöthet werden. Aus je mehreren Paaren ein solches Vieleck besteht, desto größer sind die Abweichungen der Magnetnadel, wenn Löthstellen in der Art erwärmt werden, daß stets eine übersprungen wird, und außerdem eine Seite des Vielecks im magnetischen Meridiane liegt. Statt der Erwärmung kann man sich auch der Erkältung bedienen, und, beide auf einmal angewendet, in der Art, daß immer die eine Löthstelle erwärmt und die darauf folgende erkältet wird, geben die stärksten Ablenkungen der Magnetnadel.

2) Auch die zusammengesetzte thermoelektrische Kette kann geschlossen und offen sein, wie Figur 132 1 und 2 zeigen. Statt

Figur 132.



die Glieder der offenen in ein Vieleck, wie in 2 zu ordnen, kann man sie auch auf mehrere andere Arten zusammenstellen, z. B. wie in 3, wo Stäbchen von Antimon und Wismuth so neben einander in einer Richtung liegen, daß sie bei 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. zusammengelöthet, sonst aber überall durch Seide oder Firniß von der unmittelbaren Berührung abgehalten werden. Bei dieser zusammengesetzten Kette, welche thermoelektrischer Kamm heißen kann, findet die Erwärmung bequem bei 1, 3, 5, 7, 9 statt, wodurch die dazwischen liegenden Löthstellen 2, 4, 6, 8, welche sich auf der entgegengesetzten Seite befinden, übersprungen werden. Die beiden äußersten Enden A und W werden mittelst der daran gelötheten Drähte unmittelbar oder

durch den Gyrotropen mit dem Multiplikator verbunden. Eine andere Einrichtung, aber auf denselben Grundsätzen beruhend, hat die sogenannte thermoelektrische Säule von Nobili und Melloni. Sie ist eine Verbindung von vielen Paaren von Stäbchen aus Wismuth und Antimon, die sich neben einander in einem Bündel, zylinder- oder strahlenförmig, mit abwechselnd zusammengelötheten Enden befinden, und von denen die beiden äußersten mit Kupferdrähten versehen sind. Die Batterie wird nun entweder mit der einen Gruppe von Löthstellen in eine hölzerne Büchse eingesenkt, so daß nur die andere sichtbar wird, oder sie ist in einem niedern metallenen Hohlzylinder, von dessen innerer Seite isolirt, so befestigt, daß die Löthstellen beider Enden frei hervortreten. Bei gleicher Temperatur der beiden Gruppen von Löthstellen bleibt die Magnetnadel des mit der Batterie verbundenen Multiplikators in Ruhe, geräth aber bei der geringsten Temperaturdifferenz derselben sogleich in Schwankungen. Die thermoelektrische Batterie bildet mit dem Multiplikator das empfindlichste Thermoskop, das vorzüglichste Differentialthermometer. Melloni bediente sich derselben bei seinen Versuchen über die Wärmestrahlung (§ 187), wobei freilich noch manche Nebenvorrichtungen, z. B. zur Abhaltung der Wärmestrahlen von der Seite, zur bequemen Anbringung der zu untersuchenden Körper 2c., nöthig sind. Größere thermoelektrische Säulen bewirken nicht blos sehr lebhafte Abweichungen der Magnetnadel, sondern auch, wie schwache Volta'sche Säulen: Funken, Magnetisirung von Stäben und Hufeisen, Rotationen, Zersetzung von Wasser und Salzen.

232. Peltier hat gezeigt, daß ein elektrischer Strom in einem Leiter, der aus zwei aneinander gelötheten verschiedenen Metallen, etwa Antimon und Wismuth, besteht, bald Wärme, bald Kälte erzeugen kann, während man doch sonst aus den Glühversuchen nur seine erwärmende Kraft kannte. Wird ein Wismuthstäbchen mit einem Antimonstäbchen zusammengelöthet, das Ganze durch die eine Kugel eines Luftthermoskops luftdicht geführt und die außerhalb sich befindenden Enden mit einer Volta'schen Kette verbunden, so weiset das Thermoskop eine Erhöhung der Temperatur der Löthstelle und dadurch der sie umgebenden inneren Luft nach, wenn der hindurch geleitete elektrische Strom vom Antimon zum Wismuth geht, eine Erniedrigung der Temperatur bei der entgegengesetzten Richtung des elektrischen Stromes.

Peltier's und Lenz's Kreuz aus Antimon und Wismuth dient mit Zuziehung eines Multiplikators, die Temperatur der Löthstelle nachzuweisen; so wie ein größerer Stab aus Antimon und Wismuth, nach Lenz mit Vertiefungen versehen, mittelst der durch eine Volta'sche Kette in der Löthstelle erzeugten Kälte Wasser in Eis zu verwandeln.

Da Galvani seine erste Entdeckung (§ 212) an Zuckungen von Froschschenkeln machte, stellte er die Hypothese einer eigenthümlichen thierischen Elektrizität auf. In neuester Zeit hat Du Bois-Reymond gezeigt, daß der Muskel elektromotorisch wirkt. — Einige Fische haben die Eigenschaft elektrische Schläge zu ertheilen: der Zitterwels (malapterurus electricus), der Zitteraal (gymnotus

el.), der Zitterrochen (raja torpedo), welche Thiere ein aus vielen Säulchen bestehendes, durch eine schleimige Flüssigkeit verbundenes, analog der Volta'schen Säule wirkendes Organ haben.

Der innige Zusammenhang zwischen Magnetismus, Elektrizität, Licht und Wärme ist unleugbar; aber welcher Art er sei, können wir, trotz der größten Fortschritte in diesen Theilen der Physik, noch nicht mit Bestimmtheit sagen. Die Elektrizität bringt magnetische Erscheinungen hervor, der Magnetismus elektrische, und deshalb könnte beiden Arten von Erscheinungen dieselbe Naturkraft zu Grunde liegen, so daß also Elektrizität und Magnetismus nur verschiedene Aeußerungen derselben Kraft wären. Wo die Elektrizität durch nicht hinlänglich leitende Körper geht, erzeugt sie Wärme und Licht, welche vielleicht eine Vereinigung beider Elektrizitäten sind, und umgekehrt durch Wärme und Licht wird Elektrizität und dadurch Magnetismus hervorgerufen. — Der Erdmagnetismus könnte wohl eine Folge der Thermoelektrizität sein; Ampère meint, die Sonne bringe in der durch sie ungleich erwärmten Erde elektrische Ströme hervor, welche in ihr, sie von Osten nach Westen parallel mit dem magnetischen Aequator umkreisend, den Magnetismus erregen. (§ 221, 1.)

Elfter Abschnitt.

Das Wichtigste aus der Chemie.

233. Alle Erscheinungen der Körper, die eine Veränderung der Materie zur Folge haben, heißen chemische Erscheinungen (§ 23), und der Inbegriff derselben ist die Chemie. Hier stehen nur die wichtigsten Lehren derselben, deren die Physik nicht entbehren kann.

234. Einfache Körper oder Grundstoffe, auch Elemente genannt, sind solche Körper, welche bis jetzt noch nicht in chemisch ungleichartige Bestandtheile zerlegt worden sind. Die Chemiker kennen deren, vom Rubidium und Cäsium (§ 169b. III., 3) abgesehen, bis jetzt 62; sie heißen: Aluminium, Antimon, Arsen, Baryum, Beryllium, Blei, Bor, Brom, Cadmium, Calzium, Cerium, Chlor, Chrom, Didym, Eisen, Erbium, Fluor, Gold, Jod, Iridium, Kalium, Kobalt, Kohlenstoff, Kupfer, Lanthan, Lithium, Magnesium, Mangan, Molybdän, Natrium, Nickel, Niobium, Norium, Osmium, Palladium, Pelopium, Phosphor, Platin, Quecksilber, Rhodium, Ruthenium, Sauerstoff, Schwefel, Selen, Silber, Silizium, Stickstoff, Strontium, Tantal, Tellur, Terbium, Thorium, Titan, Uran, Vanadium, Wasserstoff, Wismuth, Wolfram, Yttrium, Zink, Zinn, Zirkonium.

Von diesen chemischen Elementen sind etwa $^2/_3$ Metalle und $^1/_3$ Nichtmetalle oder Metalloide. Luftförmig sind: Chlor, Fluor, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff; flüssig sind Brom (von — 15° bis + 37°) und das Quecksilber (von — 32° bis + 288° R.), alle übrigen fest.

Die vier Elemente der Alten, nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer, sind nicht Elemente in unserem Sinne.

235. Von den unzähligen, aus diesen einfachen Stoffen zusammengesetzten Körpern sind uns vorzüglich wichtig: 1) Die Säuren, 2) die Basen, welche in Alkalien, Erden und Metalloxyde eingetheilt werden, und 3) die Salze.

A. Die Säuren sind zusammengesetzte Körper von folgenden Eigenschaften: Die auflöslichen haben einen sauren Geschmack, sie röthen blaue Pflanzenfarben (Veilchen, Lakmus, Blaukohl, Ackeley) und stellen die durch die Alkalien veränderten wieder her; sie bilden mit den Basen Salze; sie sind alle negativ elektrisch, d. h. sie scheiden sich am positiven Pole der Volta'schen Säule aus ihren Verbindungen mit den Basen ab.

Die Blausäure schmeckt nach bitteren Mandeln, die Hydrothionsäure nach faulen Eiern.

Die Säuren sind entweder Sauerstoffsäuren, d. i. Verbindungen der Nichtmetalle mit dem Sauerstoffe, z. B. Schwefelsäure, Salpetersäure, Kohlensäure, Phosphorsäure — oder Wasserstoffsäuren, d. i. Verbindungen der Nichtmetalle, Brom, Chlor, Cyan, Fluor und Jod mit dem Wasserstoffe, welche Bromwasserstoffsäure, Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure), Cyanwasserstoffsäure (Blausäure), Fluorwasserstoffsäure (Flußsäure) und Jodwasserstoffsäure heißen — oder organische Säuren, und zwar vegetabilische, wie die Citronsäure, Traubensäure, Essigsäure u. s. w., welche fast alle aus Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff bestehen, und animalische, wie die Ameisensäure.

Alle drei Aggregatszustände haben Säuren, so ist z. B. die Kohlensäure luftförmig, die Schwefelsäure flüssig, die Boraxsäure fest — Schwefelsäure SO_3 und schwefelige Säure SO_2, Acidum sulphuricum und A. sulphurosum. —

B. a) Die Alkalien oder Laugensalze sind zusammengesetzte Körper von folgenden Eigenschaften: Sie haben einen laugenhaften Geschmack, wirken stark ätzend (kaustisch) auf Pflanzen- und Thierstoffe, lösen sich im Wasser leicht auf, verändern die blaue Veilchenfarbe (aber nicht Lakmus) in grüne, so wie gelbe Pflanzenfarben (Kurkuma, Rhabarber) in rothe und stellen das durch eine Säure geröthete Lakmus wieder her; sie bilden mit Säuren Salze; sie sind positiv elektrisch, d. h. sie scheiden sich am negativen Pole der Volta'schen Säule aus ihren Verbindungen mit den Säuren ab; mit Fetten und Oelen bilden sie im Wasser auflösliche Seife.

Wir kennen nur vier Alkalien, Kali, Natron, Lithion und Ammoniak, von denen die ersten drei Verbindungen des Sauerstoffes mit den Metallen Kalium (Pottassium), Natrium (Sodium) und Lithium sind; das Ammoniak dagegen ist eine Verbindung des Stickstoffes mit dem Wasserstoffe. Jene sind fest, dieses aber ist gasförmig, weshalb es auch flüchtiges Alkali heißt.

b) Die Körper Baryt, Strontian, Kalk und Magnesia, auch Baryterde, Strontianerde, Kalkerde und Talkerde oder Bittererde genannt, haben mit den Alkalien mehrere Eigenschaften gemein; sie schmecken, Magnesia ausgenommen, alkalisch, sie sind im Wasser schwer löslich, sie wirken ätzend auf die Pflanzenfarben, sie bilden mit Säuren Salze und sind positiv elektrisch; sie unterscheiden sich dagegen dadurch von ihnen, daß sie mit Oelen und Fetten im Wasser unauflösliche Seife geben und allein nicht schmelzbar sind, wenn nicht etwa mehrere zugleich ins Feuer gebracht werden. Man nennt diese vier Körper alkalische Erden; dagegen heißen eigentliche Erden die Kieselerde, Thonerde, Beryllerde, Yttererde, Erbinerde, Terbinerde, Zirkonerde, Norerde und Thorerde. Sie sind zwar, wie die Alkalien und alkalischen Erden positiv elektrisch und bilden mit Säuren Salze; sie sind aber geschmacklos, sind im Wasser durchaus unauflöslich, wirken nicht auf Pflanzenfarben, sind gar nicht schmelzbar und bilden keine Seife. Diese Erden sind alle Sauerstoffverbindungen, nämlich Verbindungen des Sauerstoffes mit den Metallen Baryum, Strontium, Calzium, Magnesium, Silicium, Aluminium, Beryllium, Yttrium, Erbium, Terbium, Zirkonium, Norium und Thorium.

c) Wiewohl alle Sauerstoffverbindungen im Allgemeinen Oxyde (§ 237, 2) heißen, also die meisten Säuren (saure Oxyde) und Alkalien und alle Erden (basische Oxyde) hiernach Oxyde sind, so nennt man doch Oxyde vorzugsweise diejenigen Sauerstoffverbindungen, die keine Säure-Eigenschaften haben, auch nicht Alkalien und Erden sind. Von diesen Oxyden gehören nur Metalloxyde und zwar nur gewisse Metalloxyde zu den Basen; sie bilden als solche mit den Säuren Salze.

C. Ein Salz ist immer eine Verbindung einer Säure mit einer Basis, also mit einem Alkali, einer Erde oder einem Metalloxyde. Es giebt daher alkalische Salze (Kalisalze, Natronsalze, Lithionsalze, Ammoniaksalze), Erdsalze (Barytsalze, Strontiansalze u. s. w.) und Metallsalze (Magnesiumsalze, Zinksalze, Kupfersalze, Silbersalze u. s. w.). Die wissenschaftliche Benennung der Salze richtet sich nach den in ihnen enthaltenen Körpern; man gebraucht die Basis als Hauptwort, die Säure als Beiwort, z. B. schwefelsaures Natron (Glaubersalz), salzsaures Ammoniak (Salmiak), salpetersaures Kaliumoxyd (Salpeter), schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfervitriol).

Die Säuren und Basen verbinden sich zu Salzen in verschiedenen Verhältnissen. Die Verbindung zweier Salze mit einander heißt ein Doppelsalz, wie der Alaun, welcher aus schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Thonerde besteht und deshalb auch schwefelsaure Kalithonerde heißt.

Neutralsalze, saure und basische Salze. — Indifferente Stoffe sind solche, die, wie das Wasser, weder zu den Säuren, noch zu den Alkalien, noch auch zu den Salzen gehören. — Säuren und Basen, Salze, Doppelsalze sind chemische Verbindungen erster, zweiter und dritter Ordnung.

236. Ehe wir die Eigenschaften der wichtigsten einfachen Stoffe und die merkwürdigsten daraus entstehenden Verbindungen angeben, bemerken wir vorerst hinsichtlich der Mengen, in welchen sich die Körper mit einander verbinden, daß dieses nicht in durchaus willkürlichen Verhältnissen, z. B. beim Weingeist und Wasser, oder wenigstens in willkürlichen Verhältnissen bis zum Sättigungszustande, wie beim Salze und Wasser, welches von jenem höchstens ein Drittheil seines eigenen Gewichtes auflösen kann, geschieht, sondern in den chemischen Verbindungen nach genau bestimmten Volumen- und Gewichtsverhältnissen, und zwar in der Art, daß, wenn ein Stoff mit einem andern mehrere Verbindungen eingeht, dieser in der zweiten, dritten u. s. w. Verbindung ein Mehrfaches, in ganzen oder einfachen Bruchzahlen ausgedrückt, von seiner Größe in der ersten Verbindung ist. Diese Größe eines Stoffes, nach Gewichten ausgedrückt, welche bei den Verbindungen gleichsam die Einheit ist, heißt ein Mischungsgewicht (Aequivalent), so wie das Verhältniß der Mischungsgewichte zweier Körper ihr Mischungsverhältniß. Das Mischungsgewicht eines zusammengesetzten Körpers ist immer die Summe der Mischungsgewichte seiner Bestandtheile. Der mathematische Theil der Chemie, welcher die Mischungsverhältnisse der Grundstoffe (στοιχεῖον) kennen lehrt, heißt die Stöchiometrie, und die dabei vorkommenden, auf die Mischungsgewichte bezüglichen Zahlen heißen die stöchiometrischen Zahlen.

Das Wasser entsteht aus 1 Maaß oder Volumen (Raumtheil) Sauerstoffgas und 2 Maaß Wasserstoffgas; da aber das spezifische Gewicht des ersteren 1,1026, das des letzteren nur 0,0688 ist (S. 92), so ist das Sauerstoffgas über 16 Mal schwerer, als das Wasserstoffgas; mithin bei der Wasserbildung 1 Volumen von jenem über 8 Mal so schwer, als die zwei Volumen von diesem. Hieraus folgt, daß zur Wasserbildung dem Gewichte nach vom Sauerstoffgase das 8fache das Wasserstoffgases genommen werden müsse. 1, 8, 9 sind nun die Mischungsgewichte des Wasserstoffgases, Sauerstoffgases und des Wassers, und so oft sie sich mit anderen Körpern verbinden, verbinden sie sich mit ihnen als 1×1, 2×1 u. s. w., 1×8, 2×8 u. s. w., 1×9, 2×9 u. s. w, oder wenn das Gewicht eines Volumens Wasserstoffgases (Atomgewicht) mit 1 bezeichnet wird, so muß auf das Sauerstoffgas 16 und auf das Wasser $2 . 1 + 16 = 18$ kommen, oder wenn das Gewicht eines Volumens Sauerstoffgases 100 heißt, so muß das Atomgewicht des 16 Mal leichteren Wasserstoffgases $^{100}/_{16} = 6,25$ und das Mischungsgewicht desselben also $2 . 6,25 = 12,5$ und das des Wassers 112,5 sein.

Die letzte Vorstellung festhaltend, können wir sagen: Die Menge jedes anderen einfachen Stoffes, der sich mit 2 Volumen oder 12,5 Gewichtstheilen, z. B. Lothen, Wasserstoffgases so verbindet, daß in der entstandenen Verbindung die Eigenthümlichkeit des Wasserstoff-

gases dergestalt aufgehoben wird, wie sie durch 100 Gewichtstheile des Sauerstoffgases im Wasser aufgehoben ist, heißt sein Aequivalent, weil es, in Gewichten ausgedrückt, in Bezug auf seinen Einfluß auf das Wasserstoffgas, eben so viel gilt, eben so viel werth ist, als 100 Gewichtstheile Sauerstoffgas. — Gleiche Volumen Chlorgas und Wasserstoffgas geben die Chlorwasserstoffsäure oder die Salzsäure; tritt also Chlorgas an Sauerstoffgas, so müssen wir es uns in zwei Volumen denken, und wenn Chlorgas 35,41 Mal schwerer als Wasserstoffgas ist, so treten in der Chlorwasserstoffsäure zu 12,5 Gewichtstheilen Wasserstoffgas 2 . 35,41 . 6,25 = 442,62 Gewichtstheile Chlorgas, woraus für letzteres 221,32 als Atomgewicht folgt. Auf ähnliche Weise vertreten 201 Gewichtstheile Schwefel die 100 Sauerstoffgas, die 442,64 Chlor bei 12,5 Wasserstoffgas u. s. w., aber eben so verbinden sich 100 Sauerst. mit 442,64 Chlor, 100 Sauerst. mit 201 Schw., 201 Schw. mit 442,64 Chlor in ihren einfachsten Verhältnissen. Es verbindet sich aber auch oft ein Mischungsgewicht des einen Stoffes mit einem und mehreren Mischungsgewichten eines andern; so geben z. B. 201 Schwefel mit 2 . 100 Sauerstoff die schwefelige Säure und 201 Schwefel mit 3 . 100 Sauerstoff die Schwefelsäure.

Bei der Vergleichung der Mischungs- und Atomgewichte der Körper gehen Dalton und Davy vom Atomgewichte des Wasserstoffgases, durch 1 ausgedrückt, aus: Gmelin u. A. vom Mischungsgewichte des Wasserstoffgases, welches er auch mit 1 bezeichnet. Hoffmann nimmt als Einheit das Gewicht eines Kubikdecimeters Wasserstoff bei 0° C. und 0,m76 Atmosphären Druck an und nennt es Krith. Berzelius aber setzt das Sauerstoffgas als Grundlage = 100 und trennt Atom- und Mischungsgewichte, so daß Sauerstoff zum Atom- und Mischungsgewichte 100 hat, Wasserstoff zum Atg. 6,25, zum Mg. 2 . 6,25, Chlorgas zum Atg. 221,32, zum Mg. 2 . 221,32 ꝛc. Wenn nun auch hiernach bei den verschiedenen Betrachtungsweisen die stöchiometrische Zahl desselben Stoffes verschieden ausfällt, so bleiben doch die Verhältnisse dieser Zahlen zu einander immer dieselben, und man kann aus den einen die anderen berechnen.

Steht nach Berzelius:

S. 100, Chl. 221,32, Schw. 201, W. 6,25,

so steht nach Davy:

$$\text{S. } \frac{100}{6{,}25} = 16, \text{ Chl. } \frac{221{,}32}{6{,}25}, \text{ Schw. } \frac{201}{6{,}25}, \text{ W. } 1,$$

wegen 6,25 : 100 = 1 : x
6,25 : 221,32 = 1 : x u. s. w.,

und nach Gmelin:

$$\text{S. } \frac{100}{2 \,.\, 6{,}25} = 8, \text{ Chl. } \frac{2 \,.\, 221{,}32}{2 \,.\, 6{,}25} = 35{,}41, \text{ Schw. } \frac{201}{2 \,.\, 6{,}25} = 16, \text{ W.}$$

Dieses Gesetzmäßige in den quantitativen Verhältnissen der zusammensetzenden Stoffe in den zusammengesetzten Körpern hat zu einer chemischen Formelsprache geführt, über die hier nur Folgendes stehen mag: Der zusammengesetzte Körper wird durch eine Formel bezeichnet, aus der man die zusammensetzenden Stoffe und ihr Mengenverhältniß

leicht erkennt. Zu diesem Zwecke wird jeder einfache Stoff mit dem Anfangsbuchstaben, einige auch mit zwei Buchstaben ihres lateinischen Namens bezeichnet, die für sich allein ein Mischungsgewicht angeben, während mehrere Mischungsgewichte durch rechts unterhalb der Buchstaben beigeschriebene Zahlen ausgedrückt werden. Wenn ein Körper aus mehreren Verbindungen besteht, so werden die Zeichen unmittelbar neben einander, durch Kommata getrennt, gestellt, oder durch das Additionszeichen mit einander verbunden, und kommen die Bestandtheile mehrere Male vor, so wird dieses durch Koeffizienten ausgedrückt.

Die folgende, auf die bekanntesten einfachen Stoffe sich beziehende Zusammenstellung ist aus Stöckhardt's Schule der Chemie entnommen:

100 Loth Sauerstoff = O können sich verbinden mit

12½	Loth	Wasserstoff	oder	H		150	Loth	Magnesium	oder	Mg
175	-	Stickstoff	-	N		171	-	Aluminium	-	Al
75	-	Kohlenstoff	-	C		350	-	Eisen	-	Fe
200	-	Schwefel	-	S		345	-	Mangan	-	Mn
387	-	Phosphor	-	P		369	-	Kobalt	-	Co
444	-	Chlor	-	Cl		370	-	Nickel	-	Ni
1000	-	Brom	-	Br		407	-	Zink	-	Zn
1586	-	Jod	-	J		725	-	Zinn	-	Sn
240	-	Fluor	-	F		1295	-	Blei	-	Pb
325	-	Cyan	-	Cy		2660	-	Wismuth	-	Bi
136	-	Bor	-	B		397	-	Kupfer	-	Cu
266	-	Silicium	-	Si		1250	-	Quecksilber	-	Hg
490	-	Kalium	-	K		1350	-	Silber	-	Ag
288	-	Natrium	-	Na		1232	-	Platin	-	Pt
255	-	Ammonium	-	NH		2455	-	Gold	-	Au
250	-	Calzium	-	Ca		328	-	Chrom	-	Cr
856	-	Baryum	-	Ba		938	-	Arsenik	-	As
548	-	Strontium	-	Sr		1530	-	Antimon	-	Sb.

Wird der Wasserstoff als Einheit genommen, so werden diese chemischen Zahlen alle 12½ Mal kleiner, mithin:

Wasserstoff = 1.

Sauerstoff	= 8		Kalium	= 39,2		Zink	= 32,5
Stickstoff	= 14		Natrium	= 23		Zinn	= 58
Kohlenstoff	= 6		Ammonium	= 18		Blei	= 103,6
Schwefel	= 16		Calzium	= 20		Wismuth	= 212
Phosphor	= 31		Baryum	= 68,5		Kupfer	= 31,7
Chlor	= 35.5		Strontium	= 43,8		Quecksilber	= 100
Brom	= 80		Magnesium	= 12		Silber	= 108
Jod	= 127		Aluminium	= 13,7		Platin	= 98,6
Fluor	= 19		Eisen	= 28		Gold	= 196,4
Cyan	= 26		Mangan	= 27,6		Chrom	= 26,3
Bor	= 11		Kobalt	= 29,5		Arsenik	= 75
Kiesel	= 21,3		Nickel	= 29,6		Antimon	= 123,4

Hiernach steht für Sauerstoff = 100.

$HO = 12\frac{1}{2} + 100 = 112\frac{1}{2}$ Wasser,
$SO_3 = 200 + 3 . 100 = 500$ Schwefelsäure,
$NO_5 = 175 + 5 . 100 = 675$ Salpeter,
$NaO = 288 + 100 = 388$ Natron,
$NaCl = 288 + 444 = 732$ Chlornatrium oder Kochsalz.

Da $CaO = 250 + 100 = 350$ Kalkerde
und $CO_2 = 75 + 2 \cdot 100 = 275$ Kohlensäure,
so ist $CaO + CO_2 = 350 + 275 = 625$ kohlensaure Kalkerde oder Kreide,
$KO, SO_3 + Al_2O_3, 3 SO_3 + 24 HO$ Alaun.

237. 1) Der Sauerstoff (oxygenium) ist ein Bestandtheil der meisten Körper; ein wesentlicher Bestandtheil aller Pflanzen- und Thierstoffe; ein Hauptbestandtheil des Wassers (89 Gewichtsprozente), denn 112,5 : 100 = 100 : x) und der atmosphärischen Luft (23 Gewichtsprozente). Das spezifische Gewicht des Sauerstoffgases, das Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit genommen, ist 1,1026; es ist ohne Geruch, Geschmack und Farbe; zum Leben und Gedeihen der Menschen, Thiere und Pflanzen, auch zum Verbrennen der Körper unumgänglich nothwendig. Athmen und Verbrennen finden in ihm weit lebhafter statt, als in der atmosphärischen Luft; alle anderen Luftarten sind nur dann athembar, d. h. dem Leben zuträglich, wenn sie mit ihm vermischt sind, wie z. B. das Stickstoffgas in der atmosphärischen Luft. Entwickelt wird dieses Gas aus Metalloxyden durch Erhitzung derselben, z. B. aus rothem Quecksilberoxyde, besonders häufig aus dem Braunsteine oder dem Mangansuperoxyde; sodann aus Säuren, von denen die meisten Sauerstoffverbindungen sind; auch aus Salzen, z. B. aus chlorsaurem Kali; wohl auch aus Pflanzen, insbesondere den sa[illegible]en.

Brennende Körper in Sauerstoffgas gebracht, brennen rascher und mit größerer Flamme fort, als in der atmosphärischen Luft; und Körper, die in atmosphärischer Luft nur glimmen, brennen mit Flamme im Sauerstoffgase, z. B. glimmende Holzspäne, Wachslichte, Zunder, Kohle; Phosphor verbrennt mit einem kaum zu ertragenden Glanze, Stahlfedern schmelzen zu Kügelchen u. s. w. Verstärkung des Feuers mittelst eines Blasebalges. — Zugöfen. Das Wasser nimmt außerdem, da einer seiner Bestandtheile Sauerstoff ist, auch noch welchen auf, den es wirklich in Luftform festhält, und dem es zuzuschreiben ist, daß die Wasserthiere unter dem Wasser leben können.

2) Die Vereinigung eines Körpers mit dem Sauerstoffe heißt im Allgemeinen Oxydationsprozeß oder Oxydation, und der daraus entstandene Körper ein Oxyd oder eine Sauerstoffverbindung. Die Oxydation ist in vielen Fällen von einer Licht- und Wärmeentwickelung begleitet; in vielen Fällen aber auch nicht, wie z. B. beim Rosten der Metalle, weshalb man Verbrennung und dunkle Verbrennung unterscheidet. Brennbar heißt jeder Körper, welcher sich mit Sauerstoff verbinden kann, und ein Körper verbrennt, heißt: er verbindet sich mit dem Sauerstoffe. Das Produkt der Verbrennung muß so viel wiegen, als der verbrannte Körper und der bei seiner Verbrennung verbrauchte Sauerstoff zusammen. Der der Oxydation entgegengesetzte chemische Prozeß ist die Desoxydation, bei den Metallen die Reduktion, wobei dem oxydirten Körper der Sauerstoff entzogen wird.

Das Athmen der Thiere und Menschen ist auch ein Verbrennungsprozeß; die eingeathmete Luft giebt ihren Sauerstoff an den Kohlenstoff des Blutes ab,

und die hierdurch entstandene Kohlensäure wird ausgeathmet. Die thierische Wärme beruht vorzugsweise auf dieser Oxydation des Kohlenstoffes im Blute. Die Pflanzen nehmen durch die Spaltöffnungen der Blätter die Kohlensäure auf und scheiden Sauerstoff aus. — Zwei Theile Mangan verbinden sich mit 2 O zu Manganoxydul; mit 3 O zu Manganoxyd; mit 4 O zu Manganhyperoxyd; mit 6 O zu Mangansäure, mit 7 O zu Ueber-Mangansäure.

3) Ehe ein Körper zu brennen, d. h. mit dem Sauerstoffe sich zu verbinden anfangen kann, muß er zuerst eine gewisse Temperatur, welche seine Entzündungstemperatur heißen mag, erreicht haben, und damit er fortbrennen könne, ist die fernere Gegenwart des Sauerstoffes oder der denselben als Bestandtheil enthaltenden atmosphärischen Luft nöthig. Um einen brennenden Körper auszulöschen, muß man ihn daher entweder unter seine Entzündungstemperatur bringen oder den Sauerstoff von ihm abhalten oder den brennbaren Stoff entfernen. Hierauf gründen sich alle Mittel, Feuer auszulöschen.

238. Der Wasserstoff (hydrogenium) ist wie der Sauerstoff ein wesentlicher Bestandtheil der Thier- und Pflanzenkörper und ein Hauptbestandtheil des Wassers (11 Gewichtsprozente, denn 112,5 : 12,5 = 100 : x). Das Wasserstoffgas ist geruch-, geschmack- und farblos und der brennbarste Körper in Berührung mit der atmosphärischen Luft; sonst ist es unfähig, das Verbrennen und Athmen zu unterhalten. Beim Verbrennen entwickelt es wenig Licht, aber viel Hitze, ist der leichteste aller Körper, sein spezifisches Gewicht (S. 92) ist 0,0688, es ist also über 14 Mal leichter, als die atmosphärische Luft, und da diese bei der Nulltemperatur und 28 Zoll Barometerstand wieder an 779 Mal leichter als Wasser ist (§ 120), an 11,000 Mal leichter, als dieses; auch ist es 16 Mal leichter als Sauerstoffgas. Erzeugt wird das Wasserstoffgas durch Zerlegung des Wassers 1) mittelst des elektrischen Stromes, besonders der Volta'schen Säule, wobei sich das Wasserstoffgas am negativen, das Sauerstoffgas am positiven Pole ansammelt; 2) indem man Wasserdämpfe über glühendes Eisen leitet, z. B. indem man sie durch einen glühenden, mit Eisenfeilspänen angefüllten Flintenlauf gehen läßt, wobei sich das Sauerstoffgas der Wasserdämpfe mit dem Eisen verbindet und es oxydirt, während das Wasserstoffgas frei wird; 3) durch einen Aufguß von Schwefelsäure auf im Wasser liegende Eisenfeilspäne oder Zink, wobei der Hergang der Sache so erklärt wird: durch die prädisponirende Wahlverwandtschaft veranlaßt die Schwefelsäure, daß das Wasser seinen Sauerstoff an Zink oder Eisen abgiebt und verwandelt es in Zink- oder Eisenoxyd. Indem nun so das Wasserstoffgas des Wassers frei wird, wird zugleich das Zink- oder Eisenoxyd in der Schwefelsäure aufgelöst und es bildet sich schwefelsaures Zinkoxyd oder schwefelsaures Eisenoxydul.

Ein brennendes Licht löscht, in Wasserstoffgas gebracht, aus, während dieses Gas selbst, sobald Sauerstoffgas vorhanden ist, brennt. — Aërostaten; Wasserstoffgasblasen. — Elektrische Zündmaschine; Döbereiner's Zündmaschine oder Platina-Zündmaschine. — Zwei Volumen Wasserstoffgas und ein Volumen Sauerstoffgas mit einander gemengt, geben Knallluft, bei deren

mit einem Knalle begleiteten Entzündung mittelst eines elektrischen Funkens Wasser entsteht; elektrische Pistolen und Kanonen. Chemische Harmonika: eine Glasröhre, in welcher das Wasserstoffgas in Schwingungen gesetzt wird durch sich wiederholende Detonationen des Knallgases an dem Ende, welches über die Flamme gehalten wird, und wo sich mit Hülfe der atmosphärischen Luft das Knallgas bildet. Die schlagenden Wetter in den Bergwerken und die Sumpfluft sind Kohlenwasserstoffgas, welches mit gewöhnlicher Luft vermengt, Knallgas bildet; Davy's Sicherheitslampe. — Die Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure (ac. muriaticum).

239. Der Stickstoff (nitrogenium) ist ein Bestandtheil mehrerer Pflanzen und der meisten Thierkörper, außerdem ein Hauptbestandtheil der atmosphärischen Luft, da diese aus $^4/_5$ Stickstoffgas (Stickgas, Azotgas) und nur $^1/_5$ Sauerstoffgas gemengt ist. Dieses Gas ist, wie das Sauerstoff- und Wasserstoffgas, ohne Geschmack, Geruch und Farbe. Sein spezifisches Gewicht ist 0,9706; es kann weder das Athmen, noch das Verbrennen unterhalten; daher in der atmosphärischen Luft, wenn ihr der Sauerstoffgehalt entzogen wird, Thiere umkommen und Lichte erlöschen. Man kann dieses Gas entwickeln, wenn man in einer mit Wasser abgesperrten, atmosphärische Luft enthaltenden Glasglocke Körper verbrennt, wozu sich Phosphor und Weingeist am besten eignen; oder durch einen Aufguß von Salpetersäure auf Fleisch, oder durch Erhitzung einer Auflösung von salpetrigsaurem Ammoniak.

Die atmosphärische Luft hat zwei wesentliche Gemengtheile: Stickstoffgas und Sauerstoffgas, und zwar kommen auf 100 Raumtheile Luft 79 Raumtheile von jenem und 21 von diesem; oder 77 Gewichtstheile von jenem und 23 von diesem. Außerdem enthält die atmosphärische Luft noch manche andere durch Verdunstung in sie gelangende Gemengtheile, wie Kohlensäure (nie über 0,04 ihres Volumens), Ammoniak, Schwefel- und Phosphorwasserstoff und Wassergas, letzteres nach Oertlichkeit und Temperatur in besonders wandelbarem Verhältnisse (§ 192, III).

Eudiometrie ist die Lehre von der Bestimmung des Sauerstoffgehaltes der atmosphärischen Luft und Eudiometer heißen die dabei gebrauchten Instrumente. Volta's Eudiometer gründet sich darauf, daß ein Volumen Sauerstoffgas und zwei Volumen Wasserstoffgas Wasser geben. Man nimmt einige Maaße atmosphärischer Luft, dazu die Hälfte Wasserstoffgas, läßt einen elektrischen Funken durch die Mischung schlagen, wodurch eine gewisse Luftmenge verschwindet, indem Wasser entsteht; $^1/_3$ der verschwundenen Luftmenge ist das der atmosphärischen Luft entzogene Sauerstoffgas; wird also die absorbirte Luftmenge mit 3 dividirt, so erhält man den Sauerstoffgehalt des erzeugten Wassers und zugleich der gebrauchten atmosphärischen Luft; z. B. 100 Volumen atmosphärischer Luft und 50 Wasserstoffgas geben 150 Volumen; nach dem Durchschlagen des elektrischen Funkens bleiben übrig 87, verschwunden sind also 63, und $^{63}/_3 = 21$ ist der Sauerstoffgehalt der 100 Volumen atmosphärischer Luft, d. h. das Stickstoffgas und Sauerstoffgas sind in der atmosphärischen Luft dem Volumen nach in dem Verhältnisse von 79:21 enthalten; was auf Gewichte reduzirt, das Verhältniß 77:23 giebt. Mit den 21 Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft haben sich von den 50 Volumen Wasserstoffgas nur 42 verbunden, und die übrigen 8 Volumen Wasserstoffgas sind mit 79 Stickstoffgas zurückgeblieben.

I. Von den fünf Sauerstoffverbindungen des Stickstoffes, nämlich Stickstoffoxydul (NO), Stickstoffoxyd (NO_2), salpetrige Säure (NO_3), Untersalpeter-

säure (NO_4) und Salpetersäure [a. nitricum (NO_5)], ist letztere für Künste und Gewerbe am wichtigsten, besonders wegen ihrer ätzenden und die Metalle auflösenden Eigenschaft, wovon jedoch Gold und Platina, die nur vom Königswasser, Goldscheidewasser (aqua regis oder ac. muriato-nitricum), welches aus zwei Theilen Salzsäure und einem Theile Salpetersäure besteht, aufgelöset werden, eine Ausnahme machen. Mit Wasser verdünnte Salpetersäure heißt Scheidewasser; so genannt, weil es Silber vom Golde scheidet, indem es jenes auflöset und dieses unangegriffen läßt. Die Salpetersäure wird aus Salpeter, d. i. salpetersaurem Kali erzeugt, wenn Schwefelsäure dazu gegossen wird, welche sich mit dem Kali verbindet und die Salpetersäure frei macht. — Die Schießbaumwolle erhält man, indem man Baumwolle in einer Mischung von gleichen Gewichten von Salpetersäure und Schwefelsäure ungefähr eine Minute liegen läßt, sie darauf gut auswäscht und vorsichtig trocknet. Die Wirkung der Schießbaumwolle, so wie des Schießpulvers beruht auf der Entwickelung sehr expansibler Gasarten aus einem festen Körper, welcher einen kleinen Raum einnimmt. Schießpulver aus Kohle, Schwefel und Salpeter gemischt nach dem chemischen Verhältniß $3C + S + NO_5 KO$ giebt $3CO_2 + N + KS$, d. h. 3 Theile Kohlensäure, 1 Theil Stickstoff — beide sehr expansibel — und das fest zurückbleibende Schwefel-Kalium. Das zu Heftpflastern und kleinen Luftballons benutzte Kollodium ist in Schwefeläther aufgelösete Schießbaumwolle.

II. Das Ammoniakgas (H_3N), flüchtiges Laugensalz, besteht aus Stickstoff und Wasserstoff, wird heftig vom Wasser absorbirt, da ein Volumen Wasser 670 Volumen desselben aufnehmen kann, und bildet so den Salmiakgeist, und mit der Salzsäure ein Salz, das salzsaure Ammoniak oder den Salmiak.

III. Die Blausäure (ac. hydrocianicum s. borussicum $HC_2N = HCy$, § 241), das heftigste Gift und ein Bestandtheil aller Pflanzenstoffe, die den Geruch und Geschmack bitterer Mandeln haben, besteht aus Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff.

240. Das Chlor ist ein Hauptbestandtheil unseres Kochsalzes, welches aus Chlor und Natrium besteht und welches daher auch Chlornatrium (Na Cl) heißt. Das Chlorgas ist gelblich-grün, also sichtbar, und hat einen starken, eigenthümlichen Geruch, unterscheidet sich hierdurch wesentlich vom Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgase; es ist nicht brennbar, aber Phosphor und einige Metalle, z. B. Zinn, Wismuth, Spießglanz, verbrennen darin, wie im Sauerstoffgase, bei gewöhnlicher Temperatur; es zerstört die Färbestoffe der Pflanzen- und Thierkörper und ist ein kräftiges Bleichmittel; es zerstört schädliche Gasarten (Schwefelwasserstoffgas, Schwefelwasserstoffammoniak), Ansteckungsdünste (Miasmen) und bösartige Krankheitsstoffe; in kleinen Mengen eingeathmet, erzeugt es Husten, Schnupfen ꝛc., in größeren Brustbeklemmungen, Blutspucken, ja es tödtet. Spez. Gewicht 2,44033. Entwickelt wird es aus Salzsäure und Braunstein, oder aus Kochsalz, Braunstein und verdünnter Schwefelsäure: dort wird der Salzsäure der Wasserstoff, hier dem Kochsalze das Sodium entzogen.

I. Das Chlor bildet mit dem Wasser, von dem es leicht aufgenommen wird, das Chlorwasser, mit Weingeist den Salzäther, welcher die Schärfe des Chlors gar nicht hat; mit Natron oder Soda Chlorsoda; mit Kalk Chlorkalk, der in flüssigem und festem oder trockenem Zustande dargestellt werden kann; mit Wasserstoff (§ 238) die Salzsäure (ac. muriaticum HCl). Chlorwasser, Chlorkalk, Chlorsoda kommen im Allgemeinen in ihren Wirkungen dem Chlorgase gleich.

II. Chlorsaures Kali (zu chemischen Feuerzeugen und Perkussionspulver), Chlornatrium (salzsaures Natron, Kochsalz), Chlorammonium (salzsaures Ammoniak), Chlorsilber (salzsaures Silberoxyd, Hornsilber).

241. Der Kohlenstoff kommt in der Natur ganz rein nur als Diamant vor, sonst ist er ein Hauptbestandtheil aller Arten von Kohlen (Graphit, Steinkohlen, Braunkohlen, Pflanzenkohlen, Thierkohlen) und Torf, kommt in den Pflanzen mit Sauerstoff und Wasserstoff, in den Thieren auch mit Stickstoff verbunden vor. Er ist beim Abschluß der Luft auch in der stärksten Hitze unschmelzbar und läßt sich nicht verflüchtigen. Die gut ausgebrannte Kohle, namentlich die der weichen Hölzer, wie z. B. der Weiden und Kiefern, hat 1) die Eigenschaft, Gasarten und Dämpfe in ihre Poren aufzunehmen und zu verdichten; sie kann z. B. von kohlensaurem Gase das 35fache ihres Volumens aufnehmen; 2) die Eigenschaft, verschiedene Stoffe aus dem Pflanzen- und Thierreiche anzuziehen und festzuhalten, daher sie gebraucht wird, faulenden Substanzen Geruch und Geschmack zu benehmen, faul gewordenes Wasser trinkbar zu machen, Flüssigkeiten zu entfärben u. s. w.

Kohlenpulver macht die Luft trocken. — Stahlwaaren, in Kohlenpulver eingepackt, rosten nicht. — Holzpfähle werden an den unteren Enden, welche in die Erde kommen, verkohlt; ebenso die Schiffstonnen inwendig. — Fleisch kann durch Kohlenpulver vor Fäulniß bewahrt werden. — Gebrauch der pulverisirten Kohle zur Reinigung der Zähne.

I. Von den fünf Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffes sind besonders merkwürdig das Kohlenstoffoxydgas (CO) und die Kohlensäure (ac. carbonicum, CO_2) oder das kohlensaure Gas, welches aus Kreide, Marmor, Kalk (kohlensaurer Kalk) mittelst Salzsäure entwickelt werden kann. Kohlenoxydgas verbrennt, indem es sich in Kohlensäure verwandelt, mit blauer Flamme; Kohlensäure dagegen läßt sich gar nicht entzünden; in keinem von beiden brennt ein Licht und beide sind lebensgefährlich. Die blauen Flämmchen über glühenden Kohlen sind Kohlenoxydgas. — Oefen dürfen daher nicht eher mittelst Klappen geschlossen werden, bis diese Flämmchen verschwunden sind; Becken mit glühenden Kohlen in Zimmern sind gefährlich. Kohlensäure wird auch durch das Athmen und bei der Gährung erzeugt, daher ist große Vorsicht in Kellern, wo Biere und Weine gähren, nothwendig. Die Kohlensäure ist aber für den Magen, so schädlich sie den Lungen ist, ein Erfrischungsmittel, z. B. bei den schäumenden Bieren, Champagner, Sauerbrunnen, deren Wässer Säuerlinge heißen, wie bei dem Selterwasser aus dem Nassauischen. Da das spezifische Gewicht der Kohlensäure 1,524 ist, so sinkt sie in der atmosphärischen Luft nieder. — Hundsgrotte bei Puzzuoli. — Für die Pflanzen ist die Kohlensäure ein wichtiges Nahrungsmittel; durch ihre ganze Oberfläche nehmen sie Kohlensäure aus der Luft auf, assimiliren den Kohlenstoff und hauchen den Sauerstoff aus. — Das kohlensaure Gas wird bei 40fachem Atmosphärendrucke flüssig und bei 57° C. künstlicher Kälte fest.

II. Die zwei Wasserstoffverbindungen des Kohlengases heißen beide Kohlenwasserstoffgas, das eine, das leichte (Grubengas, Kohlenwasserstoffgas in minimo des Kohlengases, H_2C), das andere, das schwere oder das ölbildende Gas (Leuchtgas, Kohlenwasserstoffgas in maximo des Kohlenstoffes, HC). Beide sind der Gesundheit nachtheilig, beide brennbar, daher sie zur Gasbeleuchtung gebraucht werden, besonders das letztere, welches durch trockene Destillation aus organischen Körpern erhalten wird, namentlich aus Steinkohlen und Oel. Die Sumpfluft und die schlagenden Wetter oder feurigen

Schwaden in Kohlenbergwerken sind leichtes Kohlenwasserstoffgas. — Kohlenstoff verbindet sich mit Stickstoff zu Cyan ($C_2N = Cy$), welche Luftart einen sehr stechenden Geruch hat und fast doppelt so schwer als die atmosphärische Luft ist. — Mit Sauerstoff bildet sie Cyansäure und Knallsäure. (§ 239, III.)

III. Kohlensaures Kali (gereinigte Pottasche), kohlensaures Natron (Soda), kohlensaurer Kalk (Marmor, Kalkstein, Kreide, Austern- und Eierschalen), kohlensaures Zinkoxyd (Galmei). — Die knallsauren Salze erfordern die größte Vorsicht, da sie durch Reiben, Druck und Erwärmen auf das Heftigste detoniren. Das Knallquecksilber, knallsaures Quecksilberoxyd, wird zu Zündhütchen bei den Perkussionsgewehren gebraucht.

242. Der Schwefel, ein bekanntes Mineral von schöner, hellgelber Farbe, durchsichtig oder durchscheinend, ohne Geruch und Geschmack, dessen spezifisches Gewicht 1,98 bis 2,03 ist, kommt in der Nähe von Vulkanen vor, in Rhombenoktaëdern krystallisirt, wird aber besonders durch Erhitzen aus seinen Verbindungen mit Erden und Metallen, namentlich aus Schwefelkies ($46{,}7\,Fe + 53{,}3\,S$), getrennt. Er ist ein Nichtleiter der Elektrizität, springt auseinander, wenn er schnell erwärmt wird, weshalb er auch in der warmen Hand knistert. In abgeschlossenen Gefäßen erhitzt, verwandelt er sich, ohne verändert zu werden, in Dampf, aus dem sich durch Erkalten die Schwefelblumen bilden; in offenen Gefäßen aber verbrennt er mit blauer Flamme zu schwefeliger Säure, die sich als weißer Dampf zeigt. Der feste Schwefel löst sich leicht in fetten Oelen, Chlorschwefel besonders in Schwefelkohlenstoff auf.

I. Von den Sauerstoffverbindungen des Schwefels ist außer der schwefeligen Säure (SO_2) vorzüglich wichtig die Schwefelsäure (ac. sulphuricum, SO_3). Die schwefelige Säure ist dem Athmen nachtheilig, zerstört viele Farben, weshalb sie auch ein Bleichmittel für Stroh, Seide und Wolle ist, sowohl als Gas, als auch im Wasser, von welchem sie verschluckt wird; weil sie die Gährung verhütet, braucht man sie zum Ausschwefeln der Weinfässer; sie wird durch Kälte und Druck flüssig und siedet als flüssige schwefelige Säure schon bei $-8°$; die helle konzentrirte Schwefelsäure oder englische Schwefelsäure, welche durch Verbrennen von Schwefel und Salpeter erzeugt wird, hat eine sehr große Affinität zum Wasser; die dunkelbraune und ölartige aber, auch Vitriolöl oder Nordhäuser Schwefelsäure genannt, welche aus Eisenvitriol destillirt wird, besteht aus solcher konzentrirten, wasserhaltigen Schwefelsäure und wasserfreien Schwefelsäure, welche letztere das Rauchen des Vitriolöls an der Luft bewirkt. Eine Hauptanwendung der Schwefelsäure besteht darin, daß sie zu Erzeugung anderer Säuren gebraucht wird, z. B. der Salzsäure aus Kochsalz, der Salpetersäure aus Salpeter, weil sie die stärkste Anziehung von allen Säuren auf andere Körper ausübt.

II. Die Hydrothionsäure (ac. hydrothionicum, HS) oder Schwefelwasserstoffgas ist eine Wasserstoffverbindung des Schwefels, eine Säure, die nach faulen Eiern riecht und schmeckt, brennbar und untauglich ist zum Athmen, spezifisches Gew. 1,1912. Dieses Gas entwickelt sich unter anderen, wenn verdünnte Schwefelsäure auf Schwefeleisen gegossen wird; hier wird das beigemischte Wasser zersetzt, der Sauerstoff verbindet sich mit dem Eisen, der Wasserstoff mit dem Schwefel. — Mephitische Luft in Kloaken, Abtritten ꝛc. — Chlorkalk.

III. Schwefelmetalle — Kiese und Blenden — Zinnober.

IV. Schwefelsaures Natron (Glaubersalz), schwefelsaurer Kalk (Gyps), schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol, grüner Vitriol), schwefelsaures Zinkoxyd (Zinkvitriol, weißer Vitriol), schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfervitriol, blauer Vitriol), schwefelsaure Kali-Thonerde, ein Doppelsalz (Alaun).

243. Der Posphor, Lichtträger, ein Mineral, farblos oder von rother Farbe, durchsichtig, wachsglänzend, knoblauchartig riechend, hat ein spez. Gewicht von 1,84, leuchtet im Dunkeln in Folge seiner langsamen Verbindung mit dem Sauerstoffe der Luft, entzündet sich auch in freier Luft schon bei einer niedrigen Temperatur oder beim Reiben, weshalb er immer unter Wasser in verschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden muß, wo er nur sehr langsam oxydirt. In ätherischen Oelen löset er sich auf, und macht sie leuchtend (leuchtende Schrift, Feuerzeuge). Er ist ein Bestandtheil der meisten Pflanzen, einiger Mineralien (Apatit), des Urins, der Phosphorsäure, der Knochen, deren Hauptbestandtheil phosphorsaurer Kalk ist; rein kommt er nie vor, er wird daher immer künstlich erzeugt, z. B. aus Phosphorsäure mittelst Kohlenstaub. Zur Anfertigung der Reibzündhölzchen wird viel Phosphor verbraucht; auch wird er zur Vertilgung der Mäuse, Ratten u. s. w. angewendet. Entdeckt 1669 von Brand.

I. Von den Sauerstoffverbindungen des Phosphors ist besonders merkwürdig die Phosphorsäure (ac. phosphoricum, PO_5), die aus der Knochenasche (weiß gebrannte Knochen), die ganz phosphorsaurer Kalk sind, mittelst Schwefelsäure erzeugt wird; die Schwefelsäure verbindet sich mit dem Kalk zu Gyps, und die Phosphorsäure wird frei.

II. Das Phosphorwasserstoffgas (H_3P) riecht nach faulen Fischen, entzündet sich in atmosphärischer Luft von selbst, sogar in großer Kälte.

Die Irrlichter, die Irrwische, bewegliche Flämmchen, die man an ruhigen Abenden über morastigen und solchen Oertern, wo Thier- und Pflanzenkörper faulen, daher auch zuweilen auf Kirchhöfen sieht, mögen wohl entzündetes Phosphorwasserstoffgas sein. Sonst glaubt man auch, die Fäulniß erzeuge eine schleimige phosphoreszirende Materie, welche Fludd und Chladni (1781) gefunden zu haben behaupten. Die Irrlichter fliehen vor dem, der ihnen nachgeht, in Folge der durch das Nachgehen vorwärts bewegten Luft.

244. Der Kiesel oder Silicium, der am meisten verbreitete Bestandtheil der Erdrinde, kommt nur oxydirt vor als Kieselsäure ($Si\,O_3$), welche sonst Kieselerde hieß, im Sande, Bergkrystall, Amethyst, Feuerstein ꝛc. Die Panzer der Infusionsthierchen enthalten Kieselsäure in großer Menge. Die Panzer bilden nach Ehrenberg den Tripel, den Polirschiefer und den Kieselguhr. Die Kieselsäure ist nur im Sauerstoffgebläse schmelzbar und nur in Flußsäure auflöslich. — Das Bor kommt in der Natur selten und auch nur oxydirt vor als Boraxsäure in Mineralien, Mineralwässern, auch in vulkanischen Gasen im Toskanischen, so wie im Borax (borsaures Natron), welches zum Löthen gebraucht wird. Boraxpulver auf einem Platinadrahte vor dem Löthröhre geschmolzen, giebt eine durchsichtige farblose Perle; Borax aber mit Metalloxyden geschmolzen, giebt farbige Perlen, was für die Glas- und Porzellanmalerei wichtig ist;

z. B. Eisen- und Antimonoxyd macht sie gelbroth, Kupfer- und Chromoxyd grün, Kobaltoxyd blau, Braunstein violet. — Das Selen, in seinem Verhalten dem Schwefel ähnlich, kommt noch seltener vor in Verbindung mit Metallen, besonders mit Blei und mit dem Schwefel. — Das Brom ist eine dunkelbraunrothe Flüssigkeit, welche sich leicht verflüchtigt und einen gelbrothen Dampf giebt, der unangenehm nach Chlor riecht, kommt im Meerwasser, besonders im Wasser des todten Meeres, und in allen Salzquellen vor. — Der Fluor kommt im Flußspath vor und bildet mit dem Wasserstoff die Flußsäure, welche die einzige die Kieselsäure (Kieselerde) auflösende Säure ist, weshalb sie auch zum Aetzen auf Glas benutzt wird. — Das Jod, ein fester, grauschwarzer Körper, krystallisirt in Rhombenoktaëdern, verwandelt sich bei + 180° C. in violettes Gas (veilchenfarbig *ἰωειδής*), aus welchem sich bei der Abkühlung glänzende Krystalle bilden. Es färbt die Stärke tiefblau. Es kommt in Seepflanzen, Seethieren, auch in Salzsoolen und Mineralquellen vor.

245. 1) Die Metalle sind sowohl im festen als auch im flüssigen Zustande undurchsichtig, besitzen einen eigenthümlichen Glanz, in Folge ihrer starken Zurückwerfung des Lichtes (Metallglanz), sind schmelzbar, streckbar, dehnbar, die meisten mehrere Male schwerer als das Wasser, und sind die besten Leiter der Wärme und Elektrizität.

Gold in sehr dünnen Blättchen ist durchsichtig; die Undurchsichtigkeit hört wohl bei allen Körpern bei einer gewissen sehr geringen Dicke auf. Die Radikale der Alkalien und Erden sind leichter oder nur um weniger als vier Mal schwerer als Wasser; die anderen Metalle aber vier und noch mehrere Mal schwerer; daher die Eintheilung der Metalle in Leichtmetalle und Schwermetalle.

Die Metalle kommen in der Natur vor: 1) gediegen, d. h. rein metallisch, entweder für sich oder mit anderen Metallen verbunden (Arsenik, Arsenikspießglanz, Spießglanz, Spießglanzsilber, Tellur, Blei, Wismuth, Kupfer, Gold, Silber, Quecksilber, Amalgam, Platina, Osmium, Palladium, Eisen); 2) als Erze, d. h. in Verbindung mit Sauerstoff, Schwefel, Chlor, Arsenik; 3) als Säuren (Arseniksäure $As_2 O_5$), und 4) als Salze (Eisenvitriol, Kupfervitriol, Kobaltvitriol, Zinkvitriol). Hieraus geht schon hervor, daß sich die Metalle verbinden können mit Sauerstoff, mit anderen brennbaren, unmetallischen Körpern, mit einander und mit oxydirten Körpern, letzteres aber nur dann, wenn sie zuerst Sauerstoff angenommen haben.

2) Die Metalloxyde, Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff, haben keinen metallischen Glanz, sondern ein erdiges Aussehen (Metallkalke). Sie entstehen entweder auf trockenem Wege mittelst Glühen oder Schmelzen durch den Sauerstoff der Luft, oder auf nassem durch Zersetzung des Wassers (Kalium), durch Glühen in Wasserdämpfen (Eisen), oder durch Zersetzung einer Sauerstoffsäure, wodurch oft Metallauflösungen entstehen, indem sich das entstandene Metalloxyd mit der unzersetzt gebliebenen Säure verbindet, und so eine Lösung

eines Metallsalzes giebt. So werden in Salpetersäure aufgelöset: Silber, Eisen, Wismuth, Blei, Quecksilber; in Salzsäure: Eisen, Zinn; in Königswasser: Gold, Platina, Eisen, Zinn. Wird in eine solche Auflösung eine Basis gebracht, die zur Säure eine größere Verwandtschaft hat, als das Metalloxyd, so wird dieses ausgeschieden, so wie das Metall, wenn in die Auflösung ein anderes Metall von größerer Verwandtschaft zum Sauerstoff gelegt wird, z. B. aus einer Bleiauflösung wird das Blei durch ein Zinkstäbchen, aus einer Kupferauflösung das Kupfer durch ein Eisenstäbchen abgeschieden, so wie aus einer Silberauflösung das Silber durch Kupfer (Wahlverwandtschaft).

3) Der bei weitem größte Theil der Metalle kann sich mit verschiedenen Mengen von Sauerstoff verbinden oder mehrere Oxydationsstufen haben. Diese werden bezeichnet mit den Namen: Suboxyde, Oxydule, Oxyde, Superoxyde oder Hyperoxyde, indem Suboxyd die niedrigste, Superoxyd die höchste Oxydationsstufe angiebt. Das Suboxyd und Superoxyd sind nicht salzfähige Oxyde, indem jenes erst durch Aufnahme, dieses durch Abgabe von Sauerstoff zu einem basischen Oxyde wird, und auch nur dann sich mit einem andern Oxyde verbinden kann. So hat Eisen zwei Oxydationsstufen: es giebt ein schwarzes und ein rothes Eisenoxyd; jenes ist ein Eisenoxydul ($Fe O$), dieses ein Eisenoxyd ($Fe_2 O_3$). — Zink hat drei Oxydationsstufen: es giebt 1) ein Zinksuboxyd, welches sich an der Oberfläche des Zinks in der Luft bildet und grau aussieht, 2) ein Zinkoxyd, welches sich z. B. bildet, wenn Zink in mit Wasser verdünnte Schwefelsäure gebracht wird, indem das Wasser zersetzt wird, der Sauerstoff zum Zink tritt und der Wasserstoff frei wird, 3) ein Zinksuperoxyd, die Zinkblumen, welche weiß aussehen. — Blei hat vier Oxydationsstufen; es giebt 1) ein Bleisuboxyd, das Häutchen, womit sich schmelzendes Blei belegt (Bleiasche), 2) ein Bleioxyd oder gelbes Bleioxyd (Massikot, Bleiglätte), 3) ein rothes Bleisuperoxyd (Mennige), 4) ein braunes Bleisuperoxyd, wenn sich Pb_2 mit 1 . 2 . 3 . 4 Theilen O verbinden.

Einige Metalle, nämlich Platina, Gold, Silber, Palladium und Iridium werden weder bei niedriger, noch bei hoher Temperatur merklich oxydirt, und ihre Oxyde werden durch Wärme leicht desoxydirt; bei den übrigen Metallen findet das Gegentheil statt. Jene nennt man edle, diese unedle Metalle. Um das Metall aus einem Oxyde zu erhalten, d. h. die Reduktion des Oxyds zu bewirken, gebraucht man vorzugsweise Kohle oder Wasserstoff. Die Metalloxyde werden entweder mit Kohle geglüht; oder es wird über sie, nachdem sie erhitzt worden sind, Wasserstoffgas geleitet, wodurch dort kohlensaures Gas, hier Wasser entsteht, während das Metall frei wird. Zuweilen, z. B. beim Quecksilberoxyde und Mangansuperoxyde, reicht Erhitzung allein zur Forttreibung des Sauerstoffes hin.

4) Von den Verbindungen der Metalle mit anderen brennbaren, unmetallischen Körpern sind vorzüglich merkwürdig die Verbindungen mit Schwefel und Kohlenstoff, oder die Schwefelmetalle und

Kohlenstoffmetalle. — Bei den Schwefelmetallen sind Schwefelstufen, entsprechend den Sauerstufen, zu unterscheiden. Sulfüre und Sulfide verhalten sich zu einander wie Oxydule und Oxyde; man theilt sie ein in Kiese (Kupferkies $Fe_2 S_3$, Eisenkies, Arsenikkies, Kobaltkies, Spießglanzkies, Nickelkies) und in Blenden (Quecksilber-, Silber-, Spießglanz-, Arsenik-, Zinkblende), je nachdem sie Metallglanz besitzen oder nicht. Durch Erhitzung der Schwefelmetalle wird der Schwefel als schwefelsaures Gas entfernt. — Von den Kohlenstoffmetallen sind die Verbindungen des Eisens mit Kohlenstoff besonders merkwürdig; weiches Eisen ist reines Eisen ohne oder mit nur wenig Kohlenstoff, Stahl ist Eisen mit Kohlenstoff, und Gußeisen ist Eisen mit mehr Kohlenstoff als im Stahle. Das in den sogenannten Hochöfen durch Reduktion der Eisenerze mittelst Kohle unmittelbar erhaltene Eisen heißt Roheisen oder Gußeisen; es enthält noch 3 bis 5 Prozent Kohlenstoff und andere Beimischungen, wie Mangan, Aluminium, Silicium, und ist deshalb nicht schmiedbar, daher es nur zu Gußwaaren verwendet wird. Durch den Frischprozeß, d. i. durch Schmelzung vor dem Gebläse auf Herden (Frischfeuer) oder in Flammöfen (Puddlingsarbeit), wodurch dem Roheisen mittelst Oxydation der größte Theil des Kohlenstoffes entzogen wird, und durch darauf folgendes Hämmern und Walzen entstehen vierkantige oder runde Stäbe. Dieses nur noch wenig, etwa noch ½ Prozent Kohlenstoff enthaltende Eisen heißt Stabeisen; dagegen enthält Stahl 1 bis 1,2 Prozent Kohlenstoff und steht als Kohlenstoffverbindung zwischen Roheisen und Stabeisen. Das Damasciren des Stahles wird durch Aetzen mittelst Säuren bewirkt. — Die Thonerde, welche sich auch in den Edelsteinen Saphir, Rubin, Korund findet, ist nur im Knallgasgebläse schmelzbar und die erhaltene glasartige Masse hat fast Diamanthärte (künstliche Rubine). Das in der Thonerde enthaltene Metall Aluminium, aus Chloraluminium und Natrium dargestellt, ist stark glänzend, dem Silber ähnlich, hat nur 2,56 spez. Gewicht und schmilzt bei 700° C.; es würde bei wohlfeilerer Darstellungsweise die ausgebreiteste Anwendung finden. Die Verbindungen der Metalle mit einander heißen Legirungen, die Quecksilberverbindungen insbesondere Amalgame. Unsere Gold- und Silbermünzen sind Legirungen; Gold wird mit Kupfer (rothe Legirung), oder mit Silber (weiße Legirung), oder mit Kupfer und Silber zugleich (gemischte Legirung) legirt — Silber nur mit Kupfer; so ist das Messing eine Metallegirung aus Kupfer und Zink; Bronze, Kanonenguß und Glockenmetall aus Kupfer und Zinn; Neusilber aus Zink, Kupfer und Nickel.

Legirungen schmelzen häufig bei niederer Temperatur als die in ihnen enthaltenen Metalle einzeln, und deshalb werden sie zum Löthen gebraucht; so schmilzt Zinn bei 228°, Blei bei 322°, Wismuth bei 246°; aber das Rose'sche Metallgemisch aus diesen drei Metallen, und zwar aus 110 Theilen Zinn, 207 Th. Blei und 284 Th. Wismuth, schmilzt schon in kochendem Wasser,

also bei 80° R. — Eisen amalgamirt nicht, daher kann Quecksilber in eisernen Gefäßen aufbewahrt werden.

246. 1) Der Zweck der Chemie ist ein doppelter; zusammengesetzte Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen und anzugeben, in welchem quantitativen Verhältnisse diese in jenen enthalten sind, und einfache Stoffe zu zusammengesetzten Körpern zu vereinigen. Die Chemiker bedienen sich hierzu mancher Operationen, die sich aber alle auf die in § 23 angeführten zwei Hauptoperationen, Mischung (Synthese) und Scheidung (Analyse) zurückführen lassen. Außer den in diesem Abschnitte angeführten, auf die chemische Wahlverwandtschaft sich gründenden Scheidungen verdienen hier noch die durch Wärme bewerkstelligten herausgehoben zu werden, nämlich die Verdampfung, Destillation und Sublimation. Bei dem ersten Prozesse werden mittelst Feuer in offenen Gefäßen die flüchtigen Theile eines Körpers als Dämpfe fortgetrieben; bei den beiden letzten aber werden in abgeschlossenen Gefäßen die flüchtigeren Theile der Körper in Dämpfe verwandelt, welche durch Röhren in kühle Gefäße gehen, und sich dort bei der Destillation als flüssige, bei der Sublimation als feste Körper (Sublimat, Blume) niederlassen.

Das Quellwasser ist hartes Wasser; es enthält Luftarten, besonders Kohlensäure und Salze, wie schwefelsauren Kalk (Gyps) und kohlensauren Kalk. Fleisch, Hülsenfrüchte werden davon durchdrungen — die abgelagerten mineralischen Substanzen machen dieselben hart. — Beim Kochen entweicht die Kohlensäure, und der Kalk schlägt sich nieder als sogenannter Pfannenstein, im Dampfkessel der Dampfmaschine als Kesselstein. Das Flußwasser und Regenwasser ist weiches Wasser; es hat während des Fließens Gasarten und Salze abgesetzt. Im weichen Wasser löset sich die Seife, ohne Trübung hervorzubringen, auf; im harten bilden sich dagegen weiße Flocken, weil die Seife durch den kohlensauren Kalk aufgelöset wird. Stahlwasser enthält kohlensaures Eisen, Schwefelwasser enthält Schwefelwasserstoff, Soolwasser Kochsalz nebst Kalk- und Talkerde ꝛc. Mechanische Beimengungen im Wasser werden durch ruhiges Stehenlassen, durch Filtriren oder Durchseihen (im Kleinen durch Filtrirpapier, d. i. ungeleimtes Papier, im Großen durch Sandschichten); chemische Beimischungen aber durch Destillation getrennt, wodurch allein ganz reines Wasser erhalten wird. Trockene Destillation. — Rektifikation bezeichnet die Destillation eines Destillats. Rektifizirter Alkohol. — Bei der Abdampfung wird das Zurückgebliebene, bei der Destillation und Sublimation aber das Fortgetriebene benutzt.

2) Die merkwürdigsten chemischen Zersetzungen hat man in der neueren Zeit durch den elektrischen Strom, besonders der Volta'schen Säule, bewirkt. Man hat durch sie nicht nur Wasser in seine beiden Bestandtheile: Sauerstoff- und Wasserstoffgas, sondern auch Metalloxyde, Alkalien, Erden, Säuren, Salze und andere zusammengesetzte Körper zerlegt, und hat so die Radikale der Alkalien und Erden entdeckt, und dadurch die Zahl der Metalle bedeutend vermehrt. Bei dieser Zerlegung sammelt sich das Wasserstoffgas, alle oxydirbaren Körper, die Oxyde, Alkalien und Erden am negativen Pole und heißen deshalb elektropositive, so wie sich das Sauerstoffgas und die Säuren nach dem positiven Pole begeben, und deshalb elektronegative Substanzen genannt werden. Die einfachen Stoffe lassen

sich in eine elektrochemische Reihe bringen, in welcher zwei Körper einen desto größeren elektrischen Gegensatz bilden, je weiter sie von einander stehen und deren Endglieder Sauerstoff und Kalium sind, jener als der elektronegativste, und dieser als der elektropositivste Körper. Je weiter zwei Körper in dieser Reihe von einander stehen, desto größer ist ihre Neigung, sich mit einander zu verbinden, am größten also bei den Endgliedern Kalium und Sauerstoff. Kalium auf Wasser gebracht, verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben; der Wasserstoff des H_2O entzündet sich. Daher muß Kalium in einer sauerstofffreien Flüssigkeit — Steinöl — aufbewahrt werden.

3) Zu den chemischen Prozessen gehört auch die Verbrennung, über die das Wichtigste schon beim Sauerstoffe angeführt worden ist; hier fügen wir nur noch hinzu, daß die Hauptbestandtheile aller unserer Brennmateriale, wie Holz, Kohle, Torf, Wachs, Talg, Oele u. s. w., Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff sind, und daß die Verbrennung dieser Körper Kohlensäure, Wasser, und als unverbrannten Kohlenstoff Rauch und Ruß giebt. Je wasserstoffreicher ein Brennmaterial ist, desto mehr Licht und desto weniger Wärme verbreitet es; daher werden Kohlen zur Erzeugung großer Hitze gebraucht.

Die Flamme eines kohlenwasserstoffhaltigen Leuchtmaterials hat drei Theile. Wir sehen bei einer brennenden Kerze in der Mitte der Flamme einen bläulichen nicht leuchtenden Kegel, gebildet von verdampfendem Leuchtmaterial; diesen umgiebt ein zweiter Kegel als leuchtende Hülle, worin wegen unvollkommenen Zutritts des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft nur Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas verbrennen und die hierdurch erzeugte Hitze die ausgeschiedenen festen Kohlenpartikel weißglühend und so die Flamme leuchtend macht. Die äußerste Hülle, ein schwachleuchtender bläulicher Nebel, ist in Folge ungehemmten Zutritts der atmosphärischen Luft die Stätte der vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffes und auch der höchsten Temperatur; die heißeste Stelle befindet sich etwas über der Spitze des mittleren Kegels. Leuchtend kann eine Flamme nur sein, wenn darin ein weißglühender fester Körper ausgeschieden wird; daher ist die Flamme von Weingeist und Wasserstoffgas nicht leuchtend, wohl aber die von Schwefeläther und Leuchtgas. Der leuchtende Theil der Flamme wirkt wegen des vielen Kohlenstoffes desoxydirend, der äußerste aber wegen seines Ueberschusses an Sauerstoff oxydirend; man spricht daher von einer desoxydirenden und oxydirenden Flamme, oder von einer Reduktions- und Oxydations-Flamme. — Löthrohr.

247. Die chemischen Verbindungen der anorganischen Körper sind binäre, aber die der organischen sind ternäre und quaternäre. Die Hauptbestandtheile der letzteren sind der Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, in der Art, daß Kohlenstoff keinem fehlt, die meisten aber aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff bestehen, zu denen noch bei vielen, besonders bei den thierischen Substanzen, der Stickstoff hinzutritt. Manche organische Körper enthalten auch noch Kalium, Natrium, Eisen, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Kieselsäure, Kalkerde u. s. w. Im todten organischen Körper geht beim Zutritte der atmosphärischen Luft, hinlänglicher Wärme und Feuchtigkeit eine Veränderung in der Grundmischung vor sich, welcher chemische Prozeß die Gährung heißt. Man unterscheidet in der

Gährung drei Stufen, nämlich eine geistige (Weingährung), eine saure (Essiggährung) und eine faule Gährung (Fäulniß, Verwesung). Wenn bei gehöriger Wärme zuckerhaltige, vegetabilische Körper mit Wasser übergossen werden, so gerathen sie in die geistige Gährung, indem sich die Flüssigkeit trübt, eine Luftentwickelung (kohlensaures Gas) stattfindet und darauf ein Schaum sich auf der Oberfläche sammelt. So wie die Luftentwickelung aufhört und der Schaum sich verliert, wird die Flüssigkeit klar, erhält einen weinartigen Geschmack und Geruch, außerdem eine berauschende Kraft. In diesem Zustande heißt die Flüssigkeit Wein im chemischen Sinne (Wein, Obstwein, Bier, Branntwein). Der Wein wird bei freiem Zutritte der Luft und größerer Wärme zur Säure, d. h. er verliert die vorhin angeführten Eigenschaften, überzieht sich mit einer weißen Haut (Schimmel) und erhält einen sauren Geschmack. Er heißt nun Essig (Weinessig, Obstessig, Malzessig), der sich vom Weine nur durch einen größeren Gehalt an Sauerstoff unterscheidet. In dem so veränderten Körper beginnt wiederum bei freiem Zutritte der Luft eine neue Gährung; es entwickeln sich aus ihm verschiedene Luftarten (Stickgas, Ammoniakgas, kohlensaures Gas, Kohlen-, Schwefel- und Phosphorwasserstoffgas), er bekommt einen ekelhaften Geschmack und Geruch, und zuletzt bleibt nur eine Art Erde (Damm- und Gartenerde) zurück. Mit dieser dritten Stufe von Gährung, der Fäulniß oder Verwesung, fangen an und enden zugleich die Thierkörper, indem sie die beiden ersteren überspringen.

Gährende Körper, oder solche, die leicht gähren, werden als Gährungsmittel (Fermente) gebraucht, z. B. Hefen, Sauerteig; der Gährung unfähige Körper, z. B. Weingeist, Wachs, Kampfer, Säuren, wie Schwefelsäure, Essigsäure, Salze, wie Salpeter, Kochsalz u. s. w., verhindern die Gährung anderer Körper, wenn sie sie umgeben. Außerdem müssen auch, da zur Gährung durchaus Zutritt der Luft, Wärme und Feuchtigkeit nöthig sind, das Abhalten von Luft, die Kälte und Trockenheit gute Mittel gegen die Gährung sein. Daher werden Weine und Biere in Flaschen zugepfropft, Fleisch eingesalzen und geräuchert, todte animalische Körper in Spiritus aufbewahrt, Weine abgeschwefelt, daher auch die Eigenschaft des trockenen und kalten Bleikellers zu Bremen, Leichname lange vor der Verwesung zu schützen. Das Einbalsamiren der Leichname.

Alphabetisches Verzeichniß.

Druck von A. Th. Engelhardt in Leipzig.

Brettner, Hans A.

Leitfaden für den Unterricht in der Physik auf Gymnasien, Gewerbe-, Real-
u. höheren Bürgerschulen

Breslau 1868